مجموعة الكتب العلمية المبسطة (٤)

الضوء



دار المعارف




أجسام لا تُضيء

مجموعة الكتب العلمية المبسطة

٤

الضــوء

تأليف

برتا موريس باركر

بجامعة شيكاغو

قام بالمراجعة العلمية

كليفورد هولى

مدرس العلوم الطبيعية بجامعة شيكاغو (سابقاً)

ترجمة

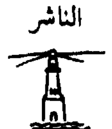
عبد الفتاح المنياوى

راجعه

محمد عاطف البرقوقى

الطبعة السادسة

الناشر



دار المعارف

بالاشتراك مع الجمعية المصرية لنشر المعرفة والثقافة العالمية

قدم الأستاذ الدكتور أحمد زكى مدير جامعة
القاهرة لهذه السلسلة القيمة فى أول كتبها
«حيوانات نعرفها» الذى ترجمه هدية منه فقال:

الأمّةُ برجالها، وَرجالها من صغارها، لهذا سَألتُ
أَن يكونَ لى شرف الشّركة فى تثقيف هؤلاء الصّغار،
فأُجيبتُ إلى سُؤْلى، فكان لِى من ترجمةِ هذا الكِتاب أوّل كتب
هذه السّلسلة القيّمة متعة قلّ أن تُعادِلَها متعَة.

أحمد زكى
مدير جامعة القاهرة

الضوء

رؤية الأشياء :

تصور أنك تقرأ كتاباً . . وتصور أيضاً أنك أغلقت عينيك فجأة . ألا تزال تستطيع أن ترى الكتاب؟ ستقول : «لا طبعاً» ، ولكن هل تستطيع أن تعلل ذلك ؟سيقول بعضهم « عند ما أغلق عينى ، لا يستطيع نظرى أن يصل إلى الكتاب » . وربما أجاب البعض الآخر إجابات لا تبعد عن الإجابة السابقة . . ولكن أمثال هذه الإجابات غير صحيحة ، ذلك لأن التفسير السليم هو« أنك عند ما تغلق عينيك لا تستطيع أن ترى الكتاب ، لأن الضوء المنبعث من الكتاب لا يستطيع أن ينفذ إلى عينيك » .

إنك لا تستطيع أن ترى جسما ما لم يدخل الضوء الذى ينبعث من هذا الجسم إلى عينيك . إنَّ بعض المرئيات تشع ضوءاً من ذات نفسها مثل الشمس والنجوم والمصباح الكهربى . وتسمى الأجسام التى يمكن أن ترى بضوئها الذاتى أجساماً مضيئة أو مثيرة للضوء . ولكن معظم الأشياء التى نراها لا تضىء بذاتها وإنما تعكس الضوء الذى يقع عليها من الشمس أو من غيرها من الأجسام المضيئة . فالقمر مثلا غير مضىء لأنه لا يشع ضوءا ذاتيا ، ولكنك تراه لأن ضوء الشمس يسقط عليه وينعكس بعض هذا الضوء تجاهك. فضوء القمر يعتبر فى الحقيقة ضوءاً شمسياً معاداً استخدامه . وأنت حين تنظر إلى صفحة فى كتاب ، فإن الصفحة ترسل إلى عينيك جزءاً من الضوء الذى يسقط عليها فترى الصفحة . ولو منع كل الضوء عن الحجرة التى تجلس فيها ، بحيث لم يعد هناك ضوء يعكسه الكتاب ، فإنك لن تستطيع أن تراه مهما فتحت عينيك .

وأنت تعلم تماماً أنك ترى ومضة البرق قبل أن تسمع الرعد الذى يحدثه ذلك البرق . وقد تمضى بضع ثوان بين رؤيتك البرق وسماعك الرعد . والسبب فى هذا أن سرعة الضوء أكبر من سرعة الصوت . فالضوء ينتقل بسرعة فائقة تبلغ نحو ١٨٦,٠٠٠ ميل فى الثانية . أما سرعة الصوت فإنها أبطأ من ذلك بكثير ، إذ تبلغ حوالى ١/٥ ميل فى الثانية .

ويسير الضوء بسرعة كبيرة إلى حد أن الوقت الذى يستغرقه من صفحة الكتاب الذى تقرؤه إلى عينيك قصير لدرجة تبدو أنه لا يستغرق وقتاً على الإطلاق .

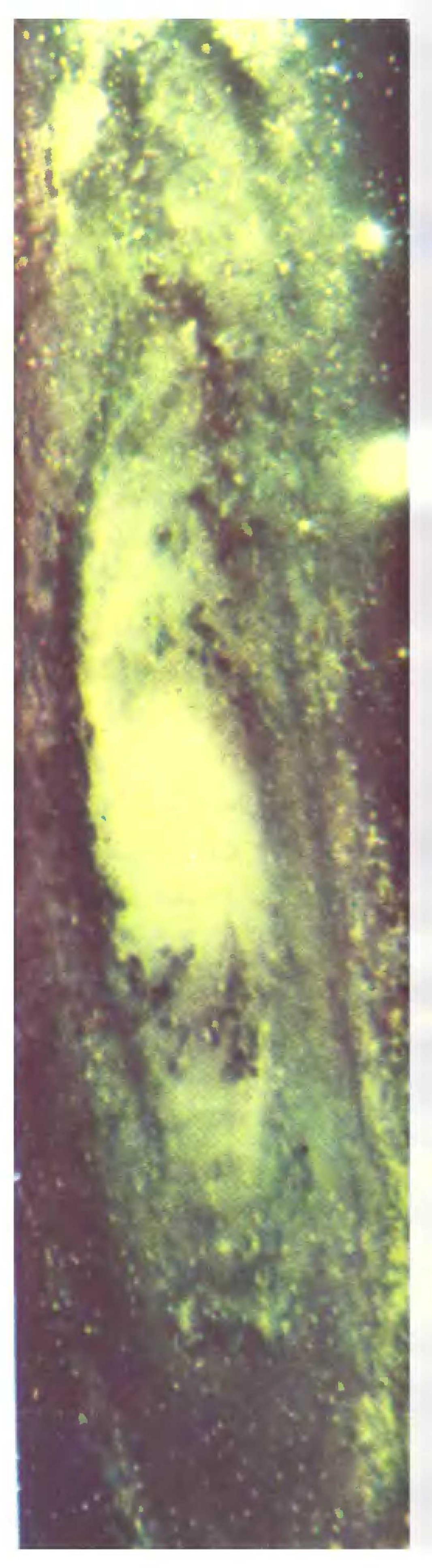
إن الأشعة تصلنا من القمر فى فترة تزيد قليلا على الثانية ، مع أنه يبعد عنا بنحو ٤٠٠,٠٠٠ كيلومتر .

إلى أى مدى تستطيع أن تبصر؟

إن الصورة التى فى هذه الصفحة تمثل مجموعة هائلة من النجوم تسمى السديم . وأنت إذا نظرت إلى السماء فى ليلة صافية ، فربما أمكنك أن ترى هذه المجموعة من النجوم التى تبدو كرقعة صغيرة من الضوء المتناثر . وهذه المجموعة من النجوم بعيدة إلى حد أن الضوء يصل منها الينا فى نحو ٩٠٠,٠٠٠ سنة . فإذا علمت أن الضوء يقطع فى عام واحد مسافة ١٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلومتر تقريبًا ، أدركت أن السديم يبعد عنا ١٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلومتر مكررة ٩٠٠,٠٠٠ مرة .

وهناك مجموعات من النجوم أبعد من هذا ، ولكنا لا نستطيع أن نراها بأعيننا المجردة ، إذ من المحتمل ألا يستطيع الإنسان أن يبصر إلى أبعد من ١٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلومتر مكررة ٩٠٠,٠٠٠ مرة .

إن جبال روكى لا تبعد عن نيويورك أكثر من ٣٢٠٠ كيلومتر . ولكن إذا صعدت سطح إحدى العمارات المرتفعة فى نيويورك واتجهت ببصرك نحو الغرب — فهل تستطيع أن ترى جبال روكى عندئذ ؟ تكاد تجزم أنك لن



السديم العظيم
فى كوكبة المرأة المسلسلة

تستطيع ذلك . ولكن لماذا لا تستطيع ، فى حين أنك ترى النجوم التى تبعد عنا ملايين البلايين من الكيلومترات ؟

أنت لا تستطيع أن ترى بعيداً جدا وأنت على سطح الأرض ، ذلك لأن هناك أشياء كثيرة تعوق سير الضوء . فالضوء مثلا يسير فى خطوط مستقيمة ولا يمكنه أن ينحنى ليرتفع فوق الجبال أو ليدور حول المبانى والأركان . كذلك تعمل الأمطار والثلوج والغبار والضباب على تشتيت الضوء . وزيادة على ذلك فإن كروية الأرض تعوق رؤية الأشياء التى تبعد بضعة آلاف أو مئات من الأميال فوق سطح الأرض . لكن الضوء الذى يأتى إلينا من النجوم يقطع معظم رحلته الطويلة إلى الأرض خلال الفراغ .

الرؤية خلال الأشياء :

يستطيع الضوء أن يمر فى بعض المواد بدرجة تمكننا من أن نرى بوضوح خلال هذه المواد . وتسمى مثل هذه الأشياء « أجساماً شفافة » . فبعض أنواع الزجاج شفاف ، والمياه الساكنة الصافية شفافة . . . والهواء شفاف . . . ولو لم يكن الهواء شفافاً لبدا العالم عجيباً شاذا .

وهناك أجسام أخرى تسمح « لبعض » الضوء أن يخترقها ، ولكن لدرجة لا تكفى للرؤية الواضحة خلال هذه المواد . ولذا نسميها « نصف شفافة » والزجاج « المسنفر » الذى يستخدم فى مصابيح الكهرباء نصف شفاف ؛ والورق المطلى بالزيت الذى كان يستخدم بدلا من زجاج النوافذ فى العهود الغابرة يعتبر نصف شفاف وليس شفافاً تماماً .

طرود صغيرة ملفوفة فى ورق السيلوفان



على أن بعض المواد لا يسمح للضوء بأن يخترقها إطلاقاً ، وهذه هى المواد المعتمة (غير الشفافة) كالخشب والصخر والصلب والورق المقوى « الكرتون ». ولكن هذه المواد المعتمة يمكن أن تكون نصف شفافة إذا كانت على شكل صفائح رقيقة جداً .

الظلال :

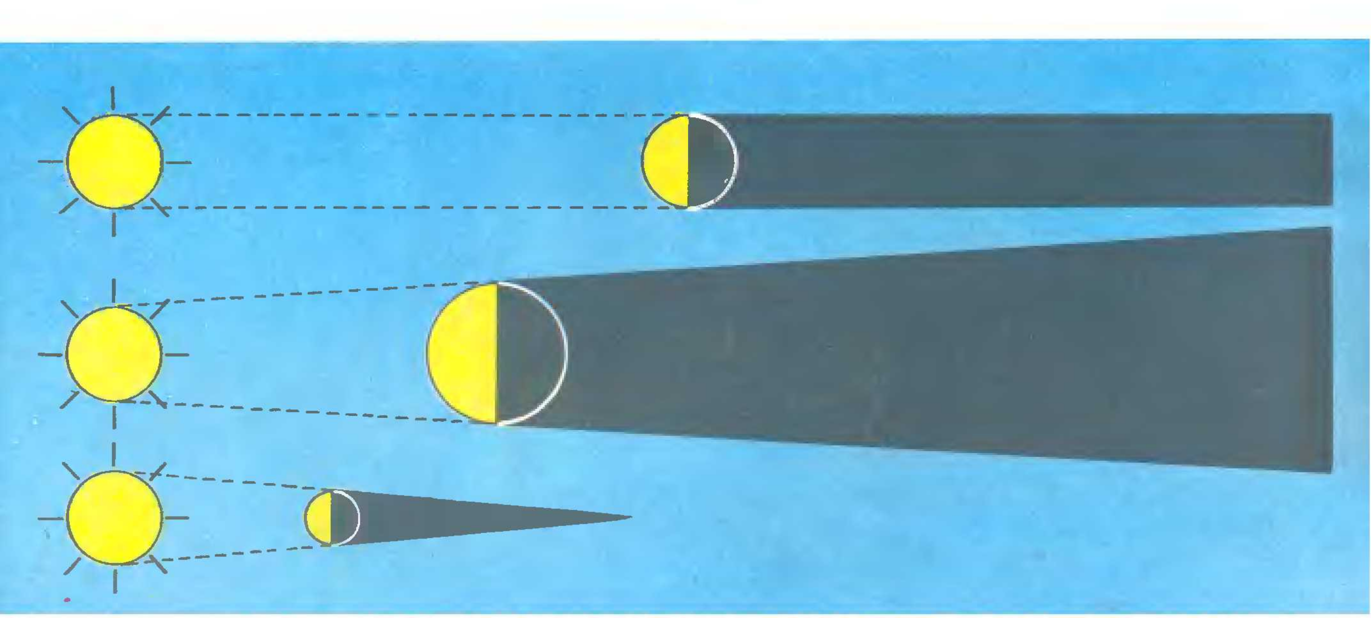
كل ما هو مصنوع من مادة معتمة يلقى ظلاً عندما يسقط عليه ضوء فى اتجاه واحد. ولعلك تعرف من خبرتك وتجاربك أن الظل يمكن أن يكون أطول أو أقصر ، أو أعرض أو أضيق من الشيء الذى يلقى الظل ، والأشكال التى فى هذه الصفحة وفى صفحة ٧ تعينك على إدراك بعض الأسباب التى ينتج عنها تغير الظل شكلا وحجماً .

ولقد اعتاد الناس أن يعرفوا الوقت فى النهار بوساطة الظلال . واستعملوا لذلك المزولة . فكان طول الظل فى بعض المزاول هو الذى يحدد الوقت نهاراً ، بينما كان موضع الظل هو الذى يحدد الوقت فى بعض المزاول الأخرى . هذا ، ولا تزال المزولة مستعملة إلى يومنا هذا .

والأرض تلقى ظلا لأن ضوء الشمس يسقط عليها . ويقع القمر أحياناً فى ظل الأرض فيسبب خسوفه . وفى أحيان أخرى يلقى القمر ظلاً على الأرض فتختفى الشمس وتحتجب عن الذين يقعون فى ظل القمر ، فنقول إن هناك كسوفاً للشمس . وظل القمر لا يغطى الأرض كلها أبدًا إذ أن قطر القمر حوالى ٣٢٠٠كيلومتر ، ولكن قطر ظل القمر على الأرض لايعدو بضعة كيلومترات . أىّ الأشكال التى فى أسفل هذه الصفحة تعينك على معرفة السبب ؟

والشمس مكونة من نفس المواد التى تتكون منها الأرض ، ولكنها لا تلقى ظلاً على

ظلال لأجسام كروية .



الإطلاق ، لشدة حرارتها ولأنها مصدر ينبعث منه الضوء .

ولولا الهواء ، لكانت الظلال على سطح الأرض أشد سواداً مما هى الآن ، ولاختفى الشخص إذا طواه الظل ، إذ لن يسقط عليه ضوء .

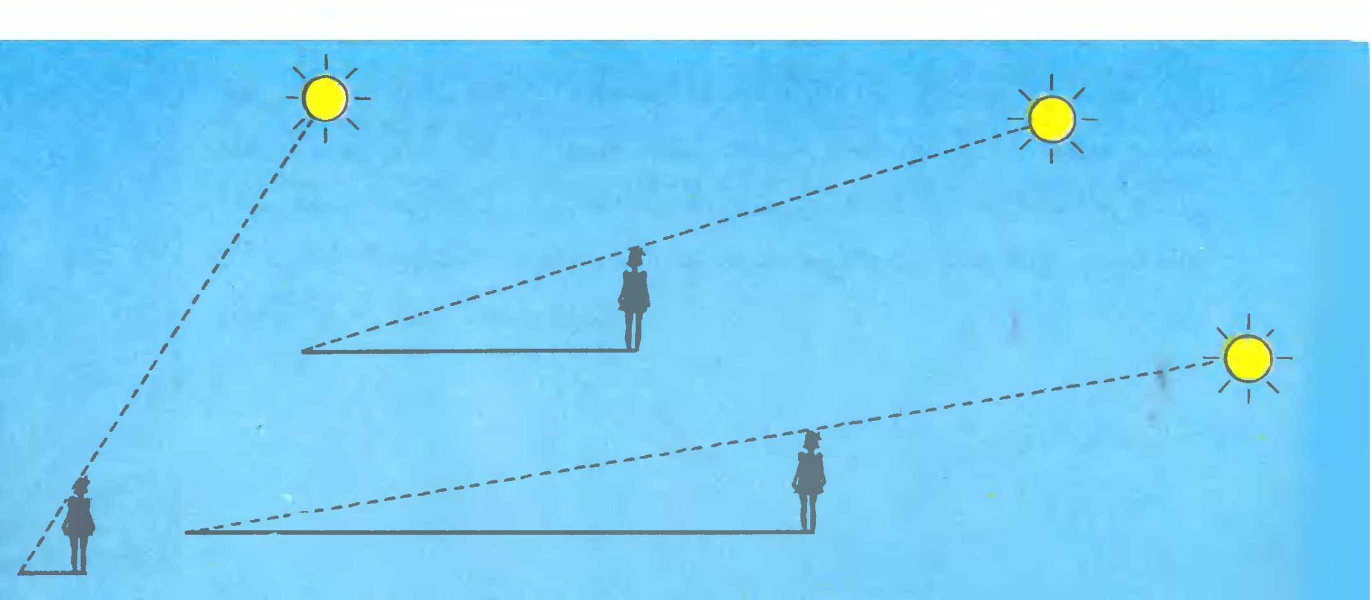
أما والحال كما هو عليه الآن ، فإن الهواء بمساعدة الغبار وقطرات الماء الرقيقة العالقة به يعمل على تشتيت الضوء ، وبذلك لا يمتنع كلية عن الأشياء التى تقع فى الظل . ولو أنك ولّيت ظهرك للشمس فى يوم صحو ، وألقيت منديلا فى ظلك على الأرض ، لأمكنك رؤية المنديل بوضوح إذ يصله بعض الضوء .

الانعكاس :

هبك مسافراً فى ليلة مقمرة ساطعة الضياء . ثم افرض أنك وقفت فى مفترق الطرق لتقرأ لافتة ترشدك إلى الطريق الصحيح الذى ينبغى أن تسير فيه . ثم تصوّر أنه فى هذه اللحظة حدثت معجزة منعت كل انعكاس للضوء ، عندئذ سيختفى كل شىء ، ستختفى الطرق ، ويحتجب القمر ، ولا ترى الأسوار على جوانب الطريق . ستظل النجوم تتلألأ ، ولكنها لن تعينك على رؤية شىء مما حولك . وإذا وقفت سيارة فى مفترق الطريق المقابل لك ، فأنت تستطيع أن ترى أنوارها الأمامية الكاشفة ولكنك لن تستطيع أن ترى السيارة نفسها .

وأنت تستطيع أن تتحسس مصباحك اليدوى الكاشف « البطارية » وسوف تجد نوره ساطعاً كالمعتاد . . . فإذا حملته وسرت حتى وصلت إلى اللافتة التى فى مفترق الطرق ، ثم وجهت ضوء « المصباح » إلى هذه اللافتة التى كنت تقرؤها منذ قليل ، فإنك لن تراها

ظلال مختلفة الطول

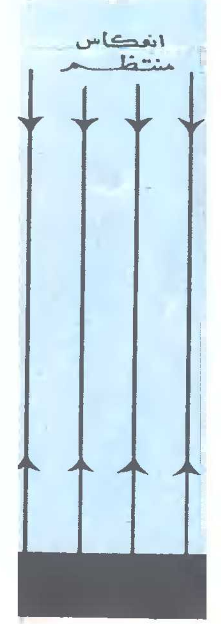


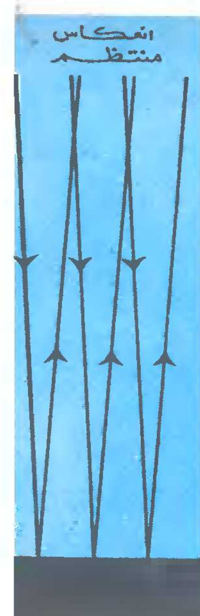


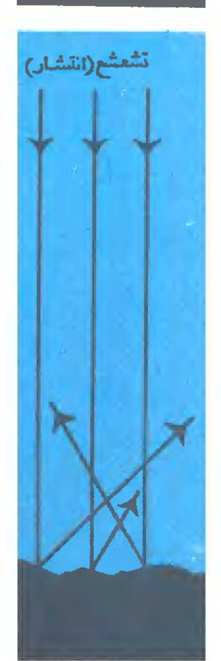
على الإطلاق مهما قرّبت مصباحك الكهربائى منها . . . كأنها اختفت اختفاء تاماً . ثم إنك لن تجرؤ أن تتقدم فى طريقك إلى الأمام ما لم يكن هناك « انعكاس » .

قد تعينك هذه القصة الخيالية على إدراك أهمية انعكاس الضوء . ولولا هذا الانعكاس ما أمكننا أن نرى غير الأشياء التى ترسل ضوءها الذاتى .

وتعكس بعض السطوح الضوء أفضل من غيرها . فالطريق المرصوف يعكس الأنوار الأمامية فى سيارتك أفضل مما تعكسه الحشائش النامية على جانبى الطريق . وورق هذه الصحيفة البيضاء يعكس الضوء خيراً مما تعكسه الكتابة السوداء المطبوعة فوقها . والإناء الفضى اللامع كذلك يعكس الضوء خيراً مما يعكسه إناء آخر فى حاجة إلى تلميع . وعلى هذا الأساس أيضاً تعكس الضوء منضدة مطلية لامعة أفضل مما تعكسه منضدة أخرى مصنوعة من خشب لم يتم دهانه . وربما سبق لك أن رأيت علامات الطريق التى تعكس أنوار السيارات الأمامية عند ما تسقط عليها . فهى تعكس هذه الأنوار بدرجة تظهر معها كأنما هى نفسها أجسام مضيئة .







إن بعض السطوح يعكس الضوء بطريقة تظهر صوراً واضحة للأجسام . فهى تؤدى عمل المرايا . ومعظم المرايا مصنوعة من زجاج شفاف مغطى بمادة تحتوى على الفضة . ولكن هناك مواد أخرى تؤدى العمل نفسه .

ألم تحاول رؤية المناظر من خلال نافذة القطار بالليل ؟ إن الرؤية متعذرة بالليل خلال زجاج نافذة السيارة أو القطار ، ولكنها سهلة ميسورة بالنهار .

وذلك لأنه فى النهار يسقط بعض الضوء المنعكس عنك وعن الأشياء المحيطة بك على زجاج النافذة ثم يعكس مرتداً إلى بصرك . ولكنه يضيع فى غمرة الضوء الذى ينفذ خلال النافذة من الأشياء خارج السيارة ، ومن ثم فأنت لا ترى صورتك على زجاج النافذة ، ولكنك ترى المنظر الخارجى .

وأما فى الليل ، فإن قليلا جداً من الضوء يتخلل نافذة القطار حين يشق طريقه وسط الحقول فى الظلام ، ومن ثم ترى صورتك منعكسة على زجاج النافذة . لقد أصبح هذا الزجاج مرآة من نوع جيد .

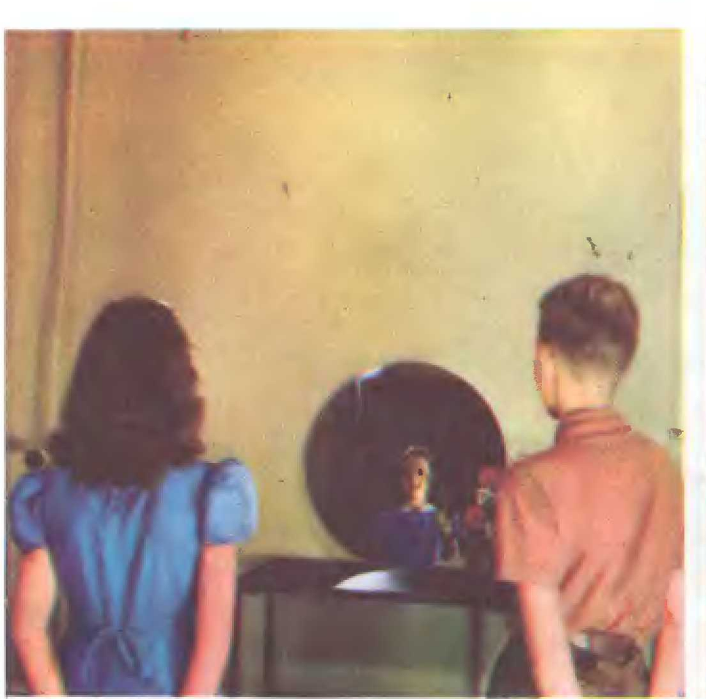
ويعكس ورق هذه الصفحة الأبيض الضوء جيداً ، ولكنك لا تستطيع أن ترى نفسك فيه ، فإنه رغم نعومته ليس أملس بدرجة تجعل منه مرآة .

حقاً إنه يعكس قدراً كبيراً من الضوء ، غير أنه يبعثر الضوء الذى يعكسه فى اتجاهات شتى . ويقول العلماء إن هذا الضوء المنعكس (يتشتت أو يشعشع) .

وأما فى السطوح التى تؤدى عمل المرآة ، فإن الضوء ينعكس بانتظام بدل أن ينتشر ويتشتت . وسوف تعينك الرسوم التوضيحية المبينة فى الجزء الايسر من صفحة ٩ على إدراك الفرق بين التشتت والانعكاس المنتظم . وحين ترى صورتك فى مرآة يحدث أن الضوء الذى يشعه وجهك ويسقط على المرآة ، يرتد عنها بحيث يصل بعضه إلى عينيك . ويبدو الجسم دائماً فى اتجاه الأشعة الواصلة منه إلى عينيك فتبدو وكأنك خلف المرآة على بعد مساو لبعدك عنها من الأمام . زد على ذلك أنك لا ترى نفسك فى المرآة كما ترى صديقاً لك تقابله فى الطريق ، وإنما ترى نفسك فى صورة معكوسة ، فتبدو عينك اليمنى وكأنها عينك اليسرى ، ويدك اليمنى تبدو وكأنها يدك



انعكاس فى مرآة منحنية (مقوسة)



انعكاس فى مرآة مستوية

اليسرى وهكذا . ولو أنك حاولت أن تقرأ شيئاً مكتوباً بعد وضعه أمام المرآة، لأدركت أن الانعكاس هو السبب الذى من أجله تبدو الكتابة معكوسة . والفتى الذى ترى صورته إلى يسار هذه الصفحة لا يستطيع أن يرى نفسه فى المرآة التى ينظر إليها ، ولكنه يرى عوضاً عن دلك انعكاس صورة الفتاة . وسوف يساعدك الرسم التوضيحى فى صفحة ١١ على إدراك السبب فى ذلك .

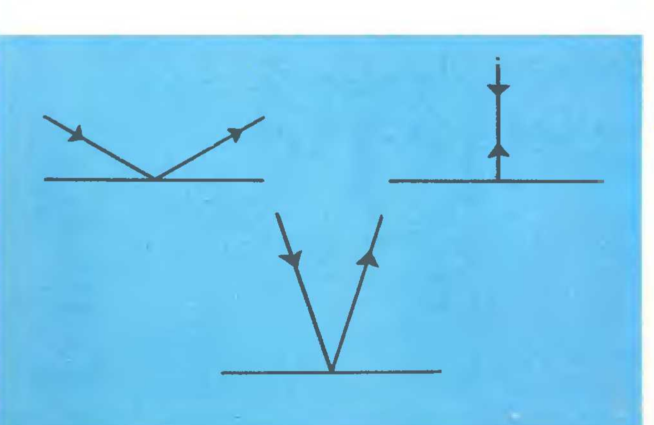
إن الضوء الذى يسقط على المرآة يشبه إلى حد كبير كرة تلقى على سطح أملس . فأنت إذا رميت كرة من المطاط على أرض ملساء ، فإنها سترتد مباشرة إلى يدك . . . وأما إذا رميتها بميل إلى الأرض فإنها لن ترتد إليك وإنما سترتد بعيداً عنك فى الاتجاه المضاد . وإذا كنت قد تعلمت قياس الزوايا ، فلا شك أنك تفهم ما يعنيه العلماء بقولهم « إن زاوية سقوط الضوء على سطح ما تساوى زاوية انعكاسه» . قد عرفت إذن لماذا يرى الولد الفتاة بدلا من أن يرى نفسه فى المرآة . ذلك أن الضوء الذى يصل إلى المرآة من الفتاة لا يرتد إليها ، وإنما ينعكس إلى الولد . وبالطريقة نفسها ترى أن الضوء الذى يصل إلى المرآة من الولد ينعكس فى الاتجاه المضاد صوب الفتاة . والانعكاس فى المرايا قد يكون أمراً محيّراً إن كان هناك عدد كبير منها . وربما حاولت أن تتحسس طريقك فى تواهة من المرايا وصدمتك الجدران المرة

بعد المرة . كما أن عدداً كبيرا من الحيل الخداعة المدهشة التى يقوم بها السحرة تتم عن طريق استخدام المرايا . فالمرايا الكروية تعكس الأشعة التى تصل إليها بطريقة تجعل صور الأشياء المنعكسة يختلف عن الأشياء نفسها فى الشكل والحجم . فبعض المرايا الكروية (المقوسة) تكبّر الأشياء ؛ وبعضها الآخر يجعلها تبدو أصغر من حقيقتها بكثير . وفى بعض المرايا تظهر الأجسام أطول وأدق من حقيقتها كما ترى فى الصورة اليمنى فى صفحة ١٠ . وفى أنواع أخرى من المرايا تبدو الأشياء أقصر وأعرض . وفى بعض المرايا الكروية تبدو الأجسام مقلوبة رأساً على عقب . وإذا أنت نظرت إلى الصورة التى انعكست منك فى بطن ملعقة فضية لامعة ثم فى ظاهرها ، رأيت كيف تختلف الانعكاسات تماماً فى المرايا المحدبة عنها فى المرايا المستوية أى المرايا غير المحدبة أو المنحنية .

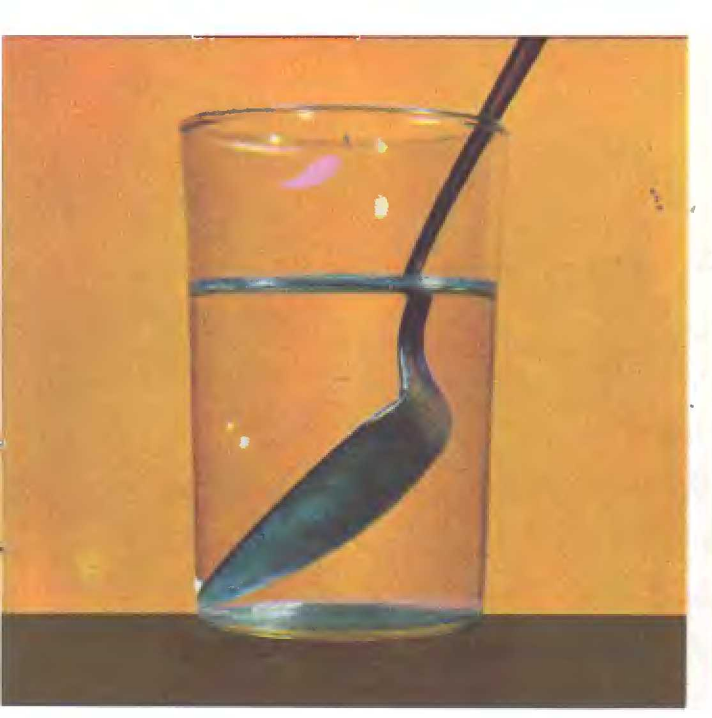
انكسار الضوء

ترى فتى هندياً فى صفحة ١١ وهو واقف يصوب حربته إلى سمكة فى الماء . ولو أن هذا الهندى الواقف على ضفة النهر صوب الحربة إلى المكان الذى تظهر له فيه السمكة ، فليس من المرجح أن يصيبها ، ولذا ينبغى أن يصوّب حربته إلى بعد أعمق فى الماء . ولكى تدرك السبب فى ذلك يجب أن تعلم شيئاً عن انكسار الضوء .

وانكسار الضوء معناه انحراف أشعة الضوء عند ما تمر منحرفة من مادة شفافة إلى أخرى . وهذا الهندى يرى السمكة لأن الضوء المنعكس منها يدخل عينيه . ولكى يصل الضوء إلى عينيه ، لا بد له من أن يمر فى مادتين شفافتين وهما الماء والهواء . فإذا كانت عين الهندى فوق السمكة مباشرة، فإن السمكة تبدو حيث هى فى مكانها ، لأن الضوء الذى يخرج منها سيصل إلى عينيه بلا انحراف ولا انكسار ، ولكنه عند ما يقف









على ضفة النهر ، فإن أشعة الضوء التى تنبعث من السمكة تسير فى طريق مائل إلى عينيه . وعند ما تمر هذه الأشعة من الماء خلال الهواء ، فإنها سوف تنحرف إلى أسفل كما يبين ذلك الرسم التوضيحى فى الجانب الأيمن من صفحة ١١ . تذكّر دائماً أن الجسم يبدو فى اتجاه الأشعة الواصلة إلى عين الرائى والمنبعثة أصلاً من الجسم . وإذا تذكرت هذا فسوف تدرك لماذا تبدو السمكة فى مكان أعلى من موضعها الأصلى . وقليل من الناس هم الذين سبق لهم أن حاولوا صيد السمك بالحراب ، ولكننا جميعاً لدينا خبرات متعلقة بالانكسار . انظر إلى أحد الرسمين فى ص ١٢ ، ثم لاحظ كيف تبدو الملعقة فى الكوب وكأنها مكسورة عند سطح الماء . . . لاحظ أيضاً أن جزء الملعقة المغمور فى الماء يبدو أكبر حجماً من ذلك الجزء الواقع فوق سطحه .

وإن الكسر الذى تراه عند سطح الماء وتضخم جزء الملعقة المغمور فى الماء سببهما انكسار الضوء . وعلى كل من يستخدم نظارة طبية أن يذكر فضل انكسار الضوء . والمنظار عبارة عن عدستين . وهاتان العدستان قطعتان مقوستان من الزجاج . وبسبب هذا التقوس فى سطوح العدسات ، تنحرف أشعة الضوء التى تمر فيها بطريقة تسهل للناس أن يروا الأشياء بوضوح أتم . ونظارة القراءة التى ترى صورتها فى الجزء الأيمن من صفحة ١٣ عبارة عن عدسة . ولو أنك قطعت هذه العدسة إلى جزءين ، لوجدت أن كل نصف منهما

يتخذ هذا الشكل ⬭ فى موضع القطع ، ومثل هذه العدسة تجعل أشعة الضوء تنحرف فيها تجاه الأجزاء الأكثر سمكاً ، إذا استخدمتها فإنها تكبر لك المرئيات .

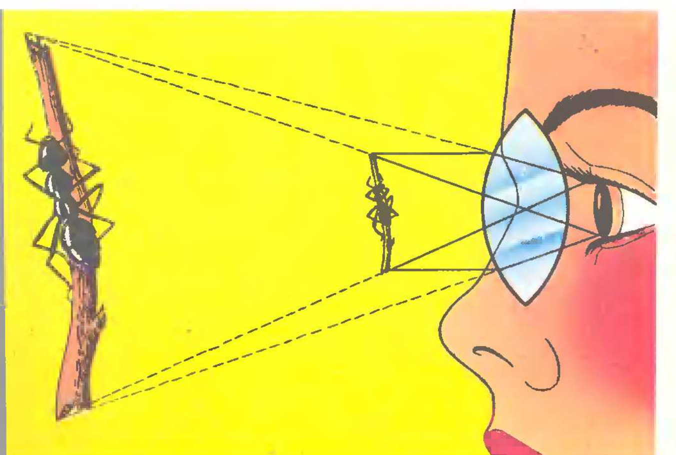
والرسم الذى تراه على اليسار فى هذه الصفحة يوضح السر فى هذا التكبير ، وعلى الرغم من أن عدسة القراءة عدسة مكبِّرة إلا أنه يمكن استخدامها إذا أردنا إظهار صورة صغيرة على الحائط لشىء كبير .

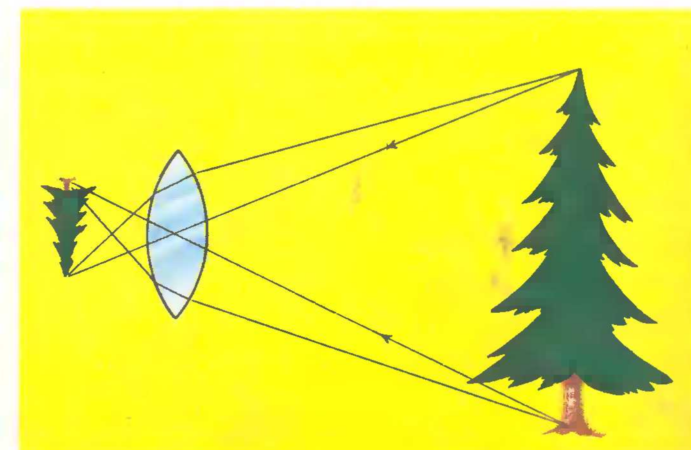
فإذا استعملت العدسة ووقفت فى حجرة وظهرك إلى نافذتها فإنه يمكنك حينئذ أن تجد على الحائط صورة صغيرة للنافذة . ويوضح لك الرسم الأيمن فى هذه الصفحة سبب ذلك . ثم لاحظ أن الصورة التى تتكون تكون معكوسة .

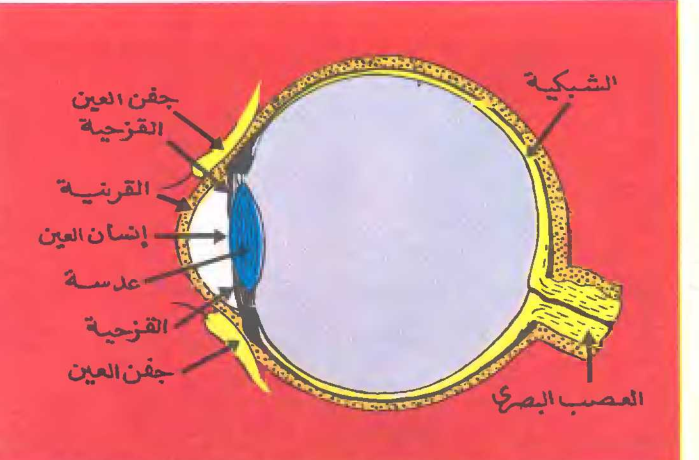
ولكى تحصل على صورة واضحة ، يمكنك أن تحرك العدسة نحو الحائط أو بعيداً عنها ، وتحريك العدسة للحصول على صورة واضحة يسمى ضبط البعد البؤرى . والعدسات على أشكال وأحجام متعددة . فعدسة القراءة عدسة محدَّبة .

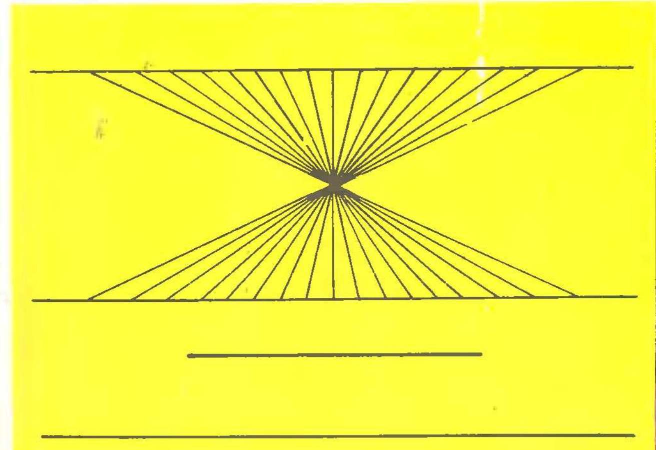
وهناك عدسات مقعَّرة . ولو أنك فصلت العدسة المقعَّرة إلى جزءين ، فإن كل جزء يبدو قريب الشبه بهذا الشكل ⧖ . وأشعة الضوء التى تمر فى مثل هذه العدسات تنحرف نحو حرفها . ويمكن أن تستعمل هذه العدسات لتصغير الأشياء .

ولبعض العدسات سطح واحد مقوس ، ويتفاوت هذا التقوس عمقاً وبساطة . وكلما زاد تقوس العدسة ، كلما زاد انحراف أشعة الضوء التى تمر بها . والعدسات كما سترى فى الصفحات القادمة جزء هام جداً فى كثير من الآلات التى نستعملها لتساعدنا على زيادة وضوح الرؤية .









أعيننا :

يوضح أحد رسوم هذه الصفحة الأجزاء المختلفة للعين البشرية . لاحظ أن للعين عدسة ولكنها ليست من الزجاج وإنما هى مصنوعة من أنسجة شفافة . وإنسان العين فتحة ينفذ خلالها الضوء إلى العين . ويمكن أن تكبر هذه الفتحة أو تصغر بواسطة « ستار » هو القزحية . وهذه القزحية هى التى تكسب العين لونها ، فإذا كان الضوء قوياً فإن القزحية تغلق الحدقة إغلاقاً جزئياً بحيث لا يدخل العين ضوء شديد . ذلك لأن الضوء الشديد يعمى. أما إذا كان الضوء قليلا فإن القزحية تسبب اتساع الحدقة .

أما القرنية فإنها تعين على حماية بقية أجزاء العين . وكرة العين كلها مملوءة بسائل شفاف يحفظ عليها قوامها وشكلها . وفى مؤخرة كرة العين توجد الشبكية . وهى مكونة من أعصاب رقيقة تتجمع فتكون العصب البصرى . والشبكية هى الحائل الذى تسقط عليه صور المرئيات التى تشاهدها . فإذا سقطت صورة على الشبكية ، فإن العصب البصرى يحمل الرسالة إلى المخ . . . فتبصر .

وتمتاز عدسة العين عن العدسة الزجاجية بشىء واحد . ذلك أن شكلها يمكن أن يتغير. فالشخص الذى يتمتع بقوة إبصار سليمة ، يستطيع أن يرى الأشياء القريبة منه والبعيدة عنه بنفس الوضوح على السواء . ورؤية الأشياء القريبة تتطلب عدسة شكلها يغاير شكل العدسة التى تستخدم فى رؤية الأجسام البعيدة ، وتقوم عضلات صغيرة بتغيير شكل العدسة . ويحدث هذا التغيير فى شكلها دون أن يلاحظ الإنسان ذلك . والحق إن العين جهاز معقد ، مثلها فى ذلك مثل المجهر أو آلة التصوير . ولكنك لست بحاجة إلى أن تتعلم طريقة استعمالها .

وقد يكون الإنسان متمتعاً بقوة إبصار سليمة ، ومع ذلك فإنه لا يثق تماما من أن بصره يعطيه صورة حقيقية لما يرى . ذلك لأن هناك أنواعاً كثيرة من الخداع البصرى . ويبين لنا الرسم التوضيحى الأيمن على صفحة ١٤ نوعين من أنواع هذا الخداع .

فالخطان العلويان متوازيان تماماً فى حين أنهما يظهران كما لوكانا منبعجين فى الوسط. والخط الأعلى من الخطين السفليين يبلغ طوله نصف طول الخط الثانى ، إلا أنه يبدو أطول من هذا . والخداع البصرى أمر طريف ولكن ليست له أهمية كبيرة .

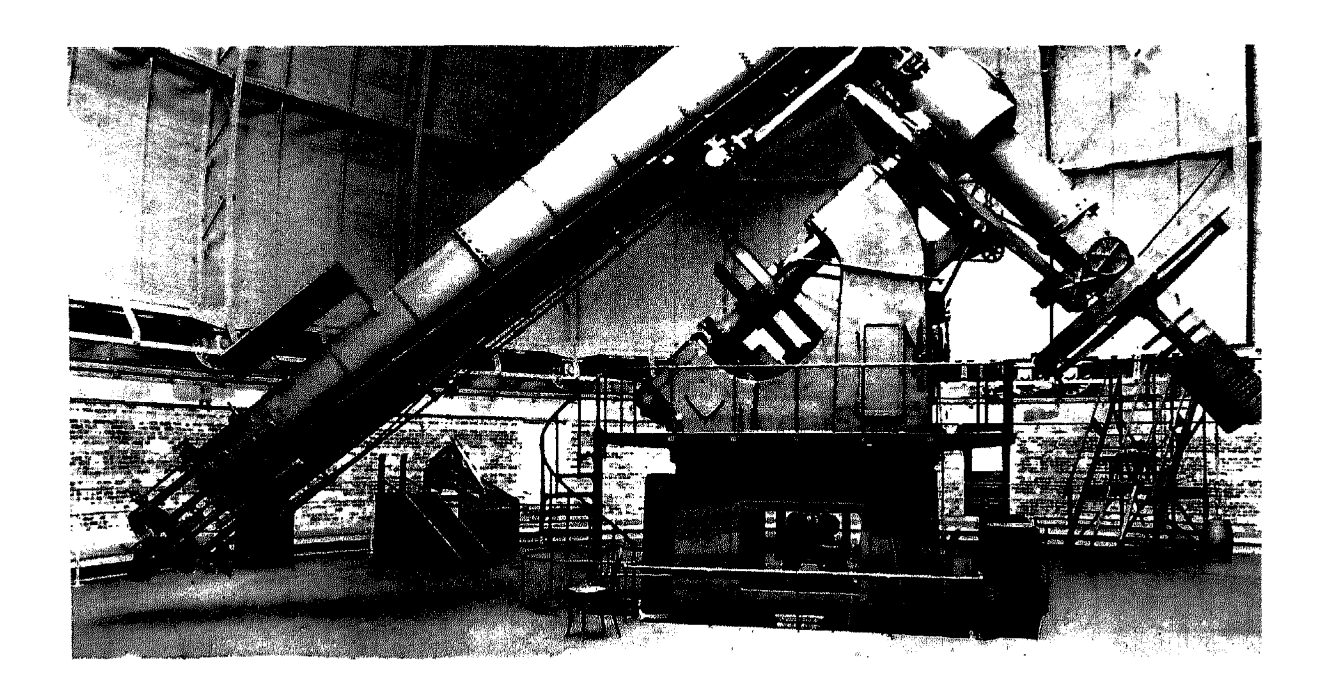
الأشياء التى تساعد على الإبصار

لو لم تخترع العدسات لأصبحت معلوماتنا عن العالم الذى نعيش فيه قاصرة ، وأصبحت أقل كثيراً مما هى عليه الآن . فمن حولنا أشياء كثيرة لا يمكن أن ترى بالعين المجرّدة . فهناك — مثلا — مئات من جراثيم الأمراض التى لا يمكن أن نراها بالعين المجرّدة لدقتها. وفى الكون المحيط بنا أشياء كثيرة أبعد من أن ترى بالعين المجرّدة، إذ هناك ملايين الملايين من النجوم — منها عدد لا يزيد عن ١٠,٠٠٠ نجم أبعادها قريبة لدرجة تمكننا من أن نراها كنجوم مستقلة بغير مساعدة الأجهزة أو الآلات .

والمجهر (الميكروسكوب) من أهم ما يساعدنا على الإبصار والرؤية . وقد ساعدنا المجهر على الوصول إلى كثير من الاكتشافات الهامة . وقد جاءت كلمة (ميكروسكوب) من كلمتين إغريقيتين معناهما « صغير » و « يرى » . أى إن الميكروسكوب جعل لرؤية


استخدام بيرسكوب صنع فى المنزل


استخدام ميكروسكوب مركب (مضاعف)

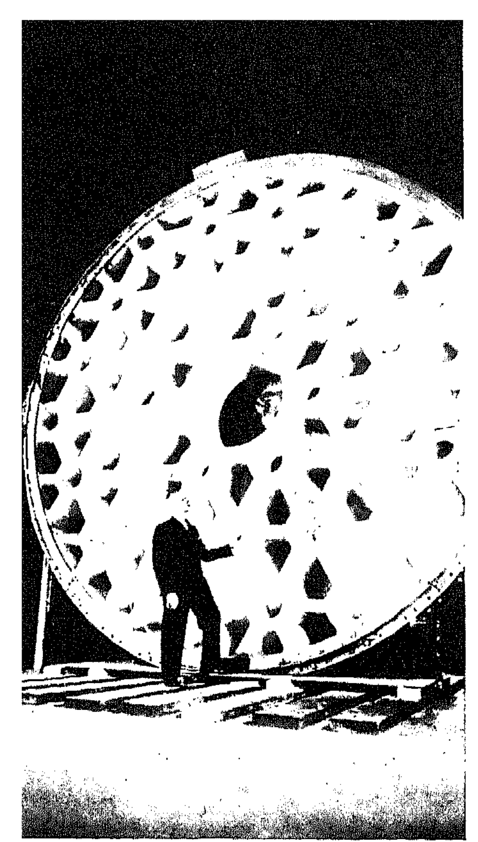


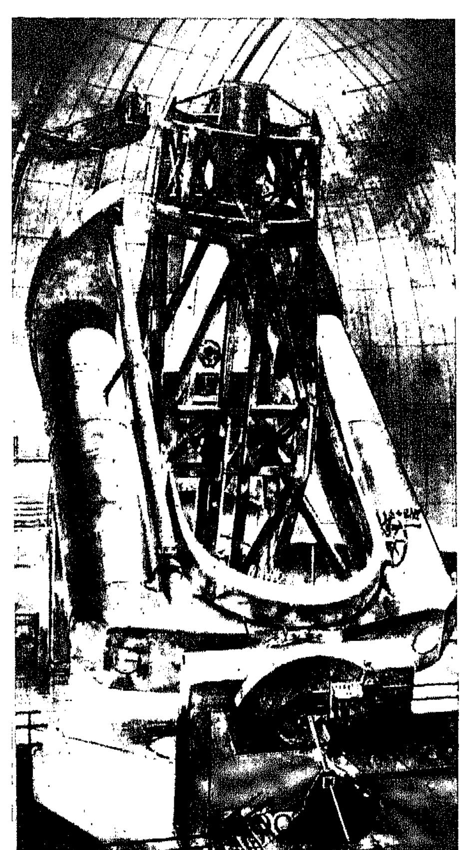
الأشياء الصغيرة . والمجهر الذى تراه فى شكل صفحة ١٥ ، هو مجهر مركّب ، فيه أربع مجموعات من العدسات ، الأولى تقع فى العينية عند قمة الميكروسكوب ، والمجموعات الثلاث الأخرى هى العدسة الشبيكية . وتستخدم كل واحدة منها على انفراد . وعندما تستعمل مجهراً كالذى تراه فى الصورة ، فإنك تستعمل مجموعتين من العدسات ، وهذه تضخّم لك كل ما تشاهده خلال الميكروسكوب .

وعند ما تستعمل مجهراً من هذا الطراز ، فإنك تضع الشىء الذى تريد أن تنظر إليه على شريحة رقيقة من زجاج .

والقاعدة العامة تقضى بأن تضع ماءً على العيّنة التى تجرى عليها الاختبار ثم تغطّيها بقطعة من الزجاج الرفيع الصافى . وهناك ثقب فى وسط مِنصّة المجهر . وهذا الثقب يسمح للضوء بأن يتجه من أسفل إلى أعلى خلال المادة التى تختبرها . وينبغى بطبيعة الحال أن توضع شريحة الزجاج فوق هذا الثقب . وتحت هذه المنصة توجد مرآة يمكن تحريكها بحيث تعكس الضوء إلى أعلى من خلال هذا الثقب . وقد لا ترى شيئاً عند ما تنظر إلى إحدى العيّنات لأول مرة خلال المجهر إذ قد لا يكون المجهر مضبوطًا .

وتثبّت فى أعلى المجهر عجلات صغيرة تستخدم فى رفع مجموعة العدسات أو خفضها . وهى العملية التى تسهل عليك ضبط المجهر وتكوين صورة واضحة .





ولو أنك نظرت إلى صفحة من الكتاب بمجهر مركب كالذى تراه فى الصورة ، فلن تستطيع أن ترى شيئاً على الإطلاق ، ذلك لأن هذا النوع من الورق لا ينفذ خلاله ضوء كاف . ومهما يكن من شيء ، فإنه يمكننا أن نقطع – حتى الصخر – إلى رقائق يمكن أن نختبرها بمجهر مركب .

وقد تمكن العلماء من معرفة طريقة تكوين الفحم بعد دراسة رقائق الفحم تحت المجهر .

والتلسكوب أيضاً جهاز هام يساعدنا على الرؤية . وكلمة تلسكوب مشتقة من كلمتين إغريقيتين معناهما «بعيد» و «يرى» . والتلسكوب يسهل لنا رؤية الأشياء البعيدة .

والتلسكوب على نوعين هما التلسكوب الكاسر للأشعة والتلسكوب العاكس .

وفى التلسكوب الكاسر تستخدم العدسات لتمكننا من رؤية الأشياء البعيدة . وأكبر عدسة مستعملة فى العالم اليوم هى التى تجدها فى التلسكوب الموضح فى الشكل صفحة (١٦) . وقطر هذه العدسة مترا واحدا .

أما فى التلسكوب العاكس فإننا نستخدم المرايا الكروية لنتمكن من رؤية الأشياء البعيدة . وتريك صورة من الصور المنشورة على هذه الصفحة الجانب الخلفى لأضخم جسم صُنع من كتلة واحدة من الزجاج ، تلك هى مرآة التلسكوب العاكس الهائل الجديد فى مرصد مونت بالمر فى كاليفورنيا . وظهر هذه المرآة مكون من خلايا تشبه قرص عسل النحل حتى لا تزن كثيراً كما لو كانت مصمتة . أما وجهها الآخر فناعم أملس ومُقعر . وقبل أن تركّب فى

مرآة التلسكوب الضخم

تلسكوب عاكس

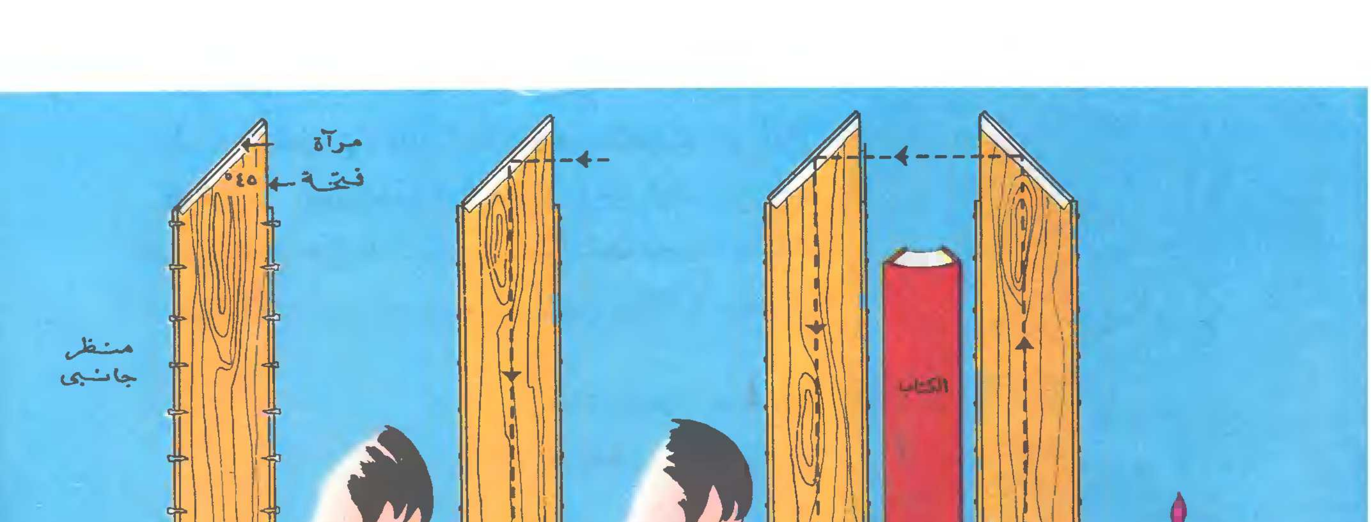
التلسكوب ، غُطيت بغشاء رقيق من الألمونيوم لكى تعكس بدرجة أفضل مما لو كانت من الزجاج وحده . وقطر هذه المرآة ٥ أمتار ، وهو ضعف قطر المرآة الموجودة فى التلسكوب العاكس الذى يلى هذا فى الحجم . وتوضح إحدى الصور المنشورة على ص ١٧ هذا التلسكوب الضخم الجديد .

ومن الأشياء التى تساعد على الرؤية والإبصار نظارات الميدان ، ومنظار المسرح (الأوبرا) والبريسكوب (منظار الغواصة) . وتشبه نظارات المسرح ونظارات الأوبرا التلسكوب إلى حد كبير ، ولكل منها عدسات . وتحتوى أحياناً على منشورات زجاجية تشبه — إلى حد ما — ذلك المنشور الذى ترى صورته فى ص ٢٥ . وهذه المنشورات تساعد على انحراف أشعة الضوء وإمالتها .

ويستطيع المرء — عن طريق البريسكوب — أن يرى ما حول الأركان وما فوق الحواجز والسدود . وكثيراً ما يستعمل رجال الغواصات البريسكوب ليروا ما يحدث فوق سطح الماء . أما النوع الأجود من ذلك فيستخدم فى صُنع العدسات والمنشورات .

ونظارات العين العادية من أهم ما يساعدنا على الإبصار . فى بعض الحالات تصبح عضلات العين عاجزة عن تغيير شكل العدسة تغييراً كافياً يسمح للشخص أن يرى المرئيات القريبة بوضوح ، مع أنه يستطيع أن يرى الأشياء البعيدة بدون أى عناء . ونحن نقول عن هذا الشخص إنه « طويل النظر » .

وهناك بعض (قصار النظر) الذين لا يستطيعون أن يروا بوضوح إلا الأشياء القريبة وحدها .



والنظارات الطبية تستطيع أن تعالج قصر النظر وطوله على السواء — ويمكن اختيار العدسات التى تساعد عدسة العين على تكوين صورة واضحة على الشبكية .

وليس طول النظر وقصره بطبيعة الحال إلا حالتين من حالات الاضطراب التى تصادفها العين ، ويمكن تصحيحها بالنظارات المناسبة .

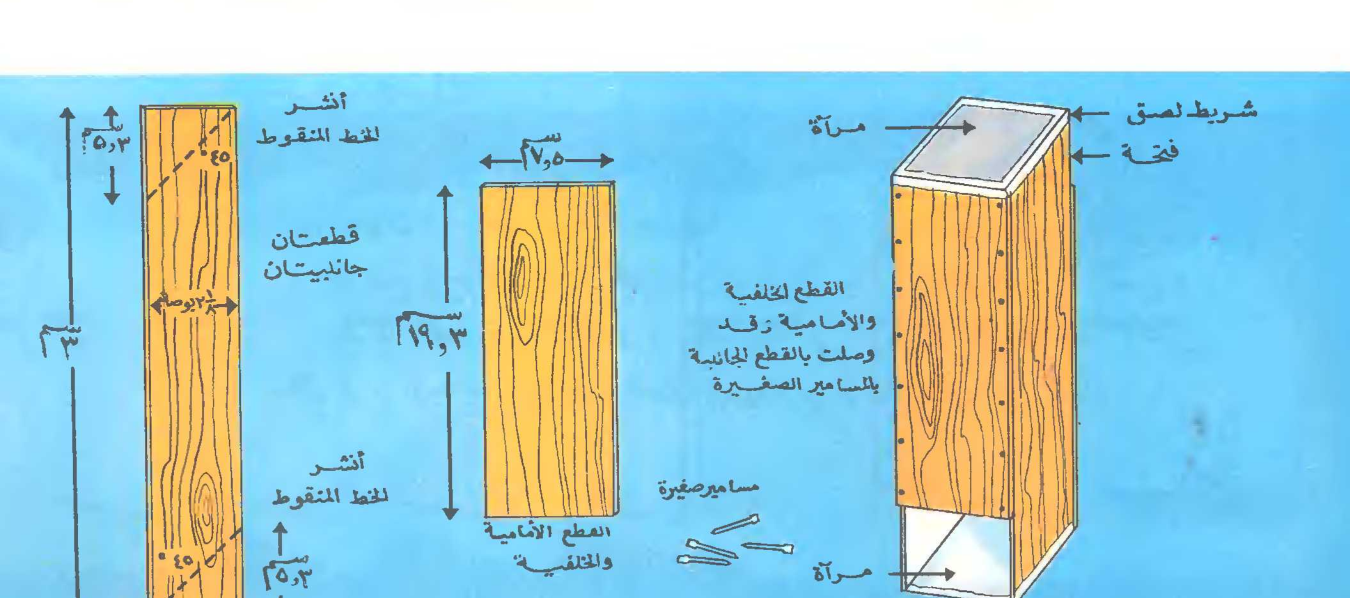
بريسكوب منزلى :

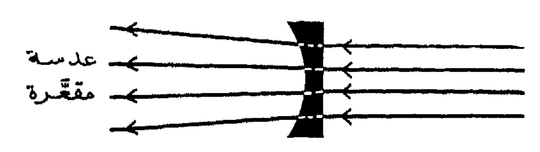
يستخدم الفتى الذى ترى صورته فى الجزء الأيمن من ص ١٥ بريسكوباً مصنوعاً فى البيت . ورغم أن النافذة أعلى من قمة رأسه ، إلا أنه يستطيع بهذا البريسكوب أن يرى ما يجرى خارج النافذة .

ولكى تصنع بريسكوباً بسيطاً كهذا ، تحتاج إلى ما يأتى :

— مرآتين مسطحتين ليس لهما إطار ، طول ضلع الواحدة ٧،٥ سم .
— أربع قطع من الخشب الرفيع بالمقاييس الموضحة فى الرسوم على صفحتى ١٨ ، ١٩ .
— مسامير صغيرة لتثبيت القطع الخشبية الأربع على شكل أنبوبة .
— شريط لزج لتثبيت المرايا فى أماكنها .

وسر صناعة البريسكوب هو وضع المزايا فى الزوايا الصحيحة تماماً . فيجب أن توضع بحيث أن أشعة الضوء التى تسقط على المرآة العليا ، ترسل رأساً إلى المرآة السفلى عن طريق الأنبوبة ، ثم إلى الخارج خلال الفتحة السفلى حتى تصل إلى عين الشخص الذى يستخدم البريسكوب .





فإذا لم تكن المرآة العليا فى الزاوية الصحيحة، فربما أرسلت معظم الضوء الذى يسقط عليها إلى جدران الأنبوبة بدلا من أن ترسله إلى المرآة السفلى .

وإذا لم تكن المرآة السفلى فى الزاوية الصحيحة، فربما ترسل معظم الضوء الساقط عليها من المرآة العليا إلى جدران الأنبوبة بدلا من أن ترسله خارج الفتحة .

وأنت لست بحاجة إلى أن تقيس الزوايا لكى تضع كل مرآة فى مكانها الصحيح ، فبعد أن يتم قطع الأجزاء الخشبية الأربعة تبعاً لما هو موضح فى الرسم (ص ١٨)، وبعد أن تسمَّر، ستكون المرايا فى الوضع الصحيح عند ما تستقر على الأطراف المائلة فى القطع الجانبية . وستكون المرآتان متوازيتين كما يتبين لك من الرسم . وسيتبع الضوء الطريق الموضح فى الشكل الأوسط (ص١٩) . فهل تستطيع أن تعرف — بناء على ماتعلمته عن الانعكاس — لماذا يتبع الضوء الطريق الموضّح فى هذا الشكل ؟

عدسة محدّبة

ويمكن عمل هذا البريسكوب الموضح فى الصورة بأى حجم . فمثلا يمكن أن يكون طول الأنبوبة ستة أقدام إن أردت .كذلك يمكن أن يكون صغيراً بدرجة تمكنك من وضعه فى جيبك ، إذا استخدمت مرايا صغيرة جداً .

وعند ما تنظر فى البريسكوب تبدو المرئيات كأنها أمامك مباشرة . وقد علمت فيما سبق أن الشيء يبدو فى اتجاه الأشعة الواصلة إلى عينيك من الجسم . ولو كان لديك بريسكوبان مثل البريسكوب المصوّر ، لأمكنك أن تعمل اللعبة الموضحة فى الشكل الأخير المنشور على ص١٩ . إنك إذا نظرت خلال أقرب بيريسكوب إليك، بدت لك الشمعة فى مكانها تماماً حيث هى بالرغم من وجود كتاب سميك بين عينك وبينها .

جرّب بنفسك :

١ — ضع لوحاً نظيفاً من الزجاج على صفحة من الورق الأبيض . حاول أن ترى وجهك فيه . هل هو مرآة جيدة ؟

ثم ضع لوح الزجاج على قطعة من الورق الأسود . . . هل هو مرآة أحسن ؟

عند ما ينفذ ضوء قليل أو لا ينفذ ضوء على الإطلاق من الناحية الأخرى خلال لوح الزجاج ، فإن هذه القطعة البسيطة من الزجاج تكون مرآة لا بأس بها .

فإذا كان الزجاج على الورق الأبيض ، نفذ الضوء من الورق خلال الزجاج . وأما إذا كان الزجاج على ورق قاتم ، فلا ينفذ خلاله ضوء كثير ، ولذا يكوّن الضوء المنعكس من السطح العلوى للزجاج صورة واضحة .

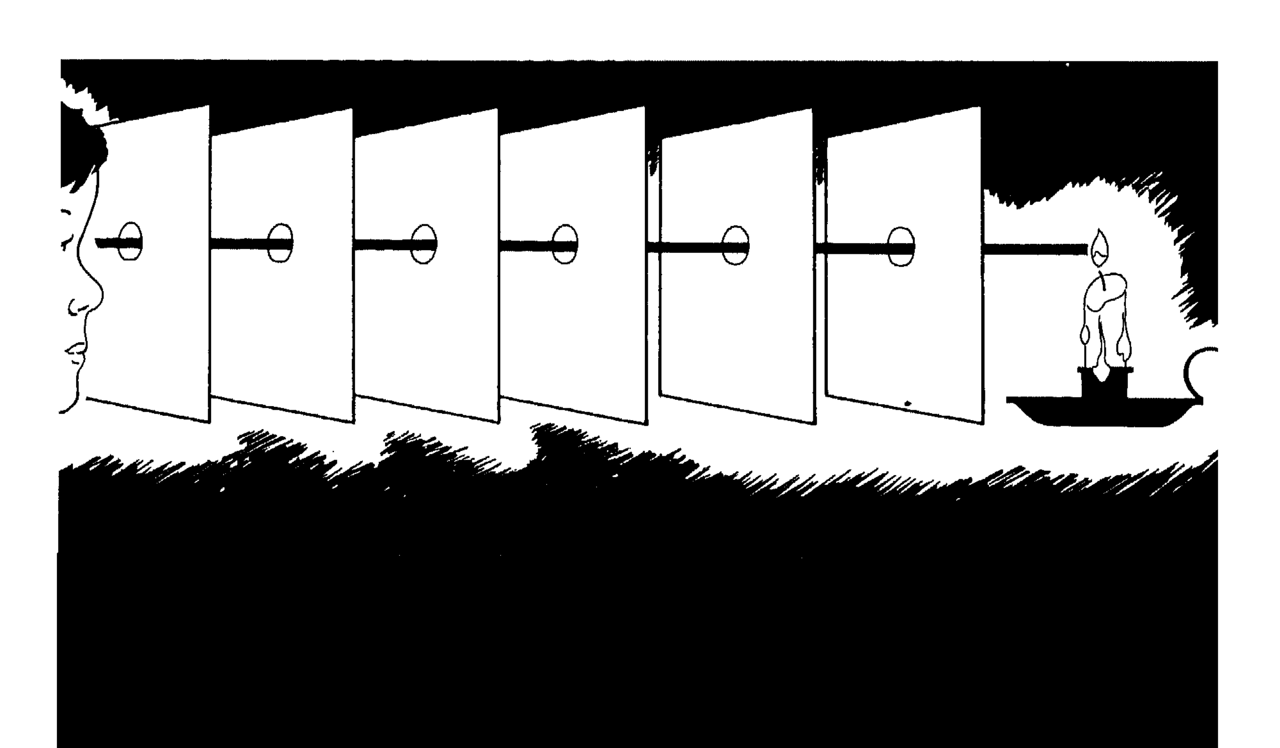
٢ – أحضر أكبر عدد ممكن من عدسات ذات انحناءات مختلفة . اكتب كلمة على قطعة من الورق ، وانظر إليها أولا خلال إحدى العدسات ، ثم خلال عدسة أخرى ، وقرِّب العدسة التى تستخدمها من عينك ثم حرِّكها بعيداً عنها حتى تستطيع أن ترى الكلمة بوضوح خلال العدسة . بأية عدسة حصلت على أحسن تكبير ؟

هل بعض العدسات تجعل الكتابة تبدو أصغر من حقيقتها ؟ وإذا كان ذلك صحيحاً فما شكل هذه العدسات ؟

٣ – أثقُب ست بطاقات من الورق عند منتصفها . ثم أشعل شمعة، وضع البطاقات على بعد ٢,٥ سم بين كل بطاقتين ، وبطريقة تمكِّنك من رؤية ضوء الشمعة إذا نظرت خلال ثقب أبعد البطاقات عن الشمعة . هل فهمت من هذه التجربة شيئاً عن الطريقة التى ينتقل بها الضوء ؟

٤ – أحضر مرآة مربعة أو مستطيلة ليس لها إطار وضعها بحيث يلامس أحد أطرافها تماماً الانصاف السفلية لبعض الحروف الأفرنجية . والمرآة تعكسها فتظهر الحروف كاملة . والحروف التى تتشابه أنصافها العليا والسفلى هى وحدها التى يمكن أن تستخدم فى هذا النوع من الكتابة فى المرآة . وهذه الحروف هى :

B, C, D, E, H, I, K, O, X,



٥ ــ أقم مرآة وسط درج أو منضدة واسندها بحيث تستقر فى مكانها . ثم انحن على ركبتيك أمامها بحيث ترى انعكاسك فيها بوضوح . ضع كتاباً على المنضدة بينك وبين المرآة . هل تستطيع أن ترى انعكاس الكتاب ؟ انتقل إلى الركن الأمامى الأيسر للمنضدة أو الدرج . هل لا تزال ترى نفسك فى المرآة ؟

حرِّك الكتاب إلى الركن الأمامى الأيمن للمنضدة أو الدرج . هل تستطيع أن ترى الكتاب فى المرآة ؟ .

عند ما تسقط أشعة الضوء على مرآة بزوايا قائمة ، فإنها ترتد من نفس الطريق الأصلى الذى جاءت منه . وعلى ذلك فإنك عندما تنظر فى المرآة وأنت والكتاب أمامها مباشرة ، فإنك ترى انعكاسك وانعكاس الكتاب معاً . وعند ما تسقط أشعة الضوء على المرآة بزاوية أخرى غير قائمة ، فإنها لا ترتد من نفس الطريق الذى وصلت منه الى المرآة ؛ وبدلا من هذا فإنها تنعكس فى الاتجاه المضاد .

وعند ما تتحرك إلى أحد أركان درجك ، فإن أشعة الضوء التى تسقط على المرآة من الكتاب الموجود فى الركن المقابل للدرج ، هى التى تصل إلى عينيك . ولهذا تستطيع أن ترى الكتاب فى المرآة ، ولكنك لا تستطيع أن ترى نفسك .

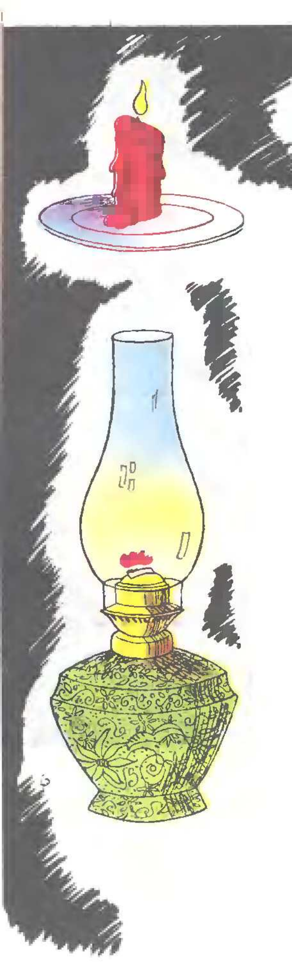
٦ ــ أحضر مرآتين مربعتين متساويتين ليس لهما إطار . ثبت دبّوساً عادياً فى مجموعة من الورق بحيث يظل قائماً فى وضع رأسى . أقم المرآتين جنباً إلى جنب فى خط مستقيم وراء الدبّوس و على بعد سنتيمتر واحد منه . ويجب أن يكون الدبوس أمام مكان تلاقى المرآتين مباشرة . ثم حرِّك طرفى المرآتين الخارجين نحوك ببطء . ما التغير الذى يحدث فى عدد الانعكاسات التى تراها للدبوس ؟ وهل كل الانعكاسات بدرجة واحدة من الوضوح ؟

عند ما تبدأ فى تحريك المرآتين الواحدة نحو الأخرى ، فإنك ترى أولا انعكاساً









واحداً للدبوس فى كل مرآة ، وعندما يزداد تقارب المرآتين ، تبدأ فى الحصول على انعكاسات فى كل مرآة للانعكاسات الموجودة فى المرآة الأخرى . وبهذا تستطيع أن ترى عدداً كبيراً من الصور للدبوس . ويتناقص وضوح الصورة كلما زادت مرات الانعكاس .

٧ — اثن قطعة من الورق المقوى عند منتصفها بحيث يظل نصفها قائماً والنصف الآخر مستوياً على سطح المنضدة . ثم اكتب كلمة مكونة من عدد كبير من الحروف على النصف القائم . أبعد الكلمة عنك ثم أمسك بمرآة بحيث تنعكس فيها الكلمة .

هل تستطيع أن تقرأ الكلمة بسهولة ؟

أدر البطاقة بحيث تواجهك الكتابة ، وأمسك مرآة بينك وبين البطاقة ، وأمسك مرآة أخرى بحيث تكون أقرب إلى المرآة منك . حرك المرآة الثانية حتى تجعلها فى وضع يمكّنك من رؤية الكلمة فيها . هل يمكنك قراءتها الآن بسهولة ؟

عند ما تنعكس الكتابة فى مرآة واحدة ، لا تكون سهلة القراءة ، لأن المرآة تعكس صورة الكلمة . أما عند ما تستعمل مرآتين وتحصل على انعكاس فى المرآة الثانية للانعكاس الموجود فى المرآة الأولى ، فإن الكتابة تكون سهلة القراءة لأن المرآة الثانية تقلب الكلمة مرة أخرى فتعود إلى وضعها الطبيعى .

٨ — أحضر أكبر عدد يمكنك الحصول عليه من المرايا المنحنية ذات الانحناءات المتباينة . انظر إلى الصورة المنعكسة فى كل مرآة . ما الاختلافات التى تراها بين هذه الانعكاسات ؟

إن سطوح المرايا المنحنية تعكس أشعة الضوء بطريقة تجعلك ترى الانعكاس أحياناً أكبر من الشىء نفسه وأحياناً أصغر منه . ويظهر الشىء مقلوباً رأساً على عقب أحياناً أخرى .

٩ — ضع وعاء صغيراً أمامك على منضدة . ثم ضع قرشاً فى قاع الوعاء ، وحرّك الوعاء بعيداً عنك بالتدريج بحيث لا تزحزح القرش عن موضعه ، أبعد الوعاء عنك حتى لا ترى من القرش إلا طرفه البعيد . ثم صب ماء فى الوعاء .

كن حريصاً حتى لا يتحرك القرش من مكانه . ماذا يحدث ؟ إنك لا تستطيع أن ترى القرش إلا إذا وصلت أشعة الضوء المنعكسة عنه إلى بصرك . وعندما تحرك الوعاء



موشور (منشور ثلاثى) يفصل ضوء الشمس إلى ألوان قوس قزح

بعيداً عنك ، يحجب جدار الوعاء الضوء المنعكس من القرش ويمنعه من الوصول إلى عينيك . وعند ما تمر أشعة الضوء مائلة من الماء إلى الهواء ، فإنها تميل وتنحنى . وعند ما تصب الماء فى الوعاء ، فإن أشعة الضوء الصادرة من القرش تميل وتنحنى بحيث يصل بعضها إلى عينيك ، فترى القرش بالرغم من أنه لم يتحرك ، وبالرغم من أنك لم تغيِّر مكانك . إنك لا ترى القرش حيث هو فعلا ، وإنما يظهر كأنه فى اتجاه الأشعة الواصلة إلى عينيك منه .

١٠ ـ أحضر لوحاً مربعاً أو مستطيلاً من الزجاج ، لا يقل سمكه عن $\frac{1}{8}$ بوصة ، ثم ارسم بقلم ملون خطاً مستقيما على قطعة من الورق، واجعل الخط أطول من عرض لوح الزجاج . ثم ضع هذا اللوح على الخط الذى ينبغى أن يمتد بعد نهاية اللوح من الجانبين .

ألق نظرة رأسية إلى الخط خلال الزجاج ثم تحرّك إلى الخلف بعيداً عن الورقة وانظر إلى الخط مرة أخرى . إن الضوء المنبعث من الخط ينتقل الآن إلى عينيك بميل . ما التغيير الذى تلاحظه ؟ عند ما تخرج أشعة الضوء عمودية من الزجاج إلى الهواء ، فإنها لا تنكسر ، وعند ما تخرج مائلة من الزجاج إلى الهواء فإنها تنكسر . فإذا ألقيت نظرة رأسية إلى الخط خلال الزجاج ، فأنه يظهر على الحالة التى تراه عليها بدون الزجاج ، وأما إذا نظرت إليه بميل فإن الخط يبدو كأنه منكسر عند طرف الزجاج . أما جزء الخط الذى يقع تحت الزجاج

فإنه يظهر وكأنه أعلى من وضعه الحقيقى ، لأنه يبدو فى الاتجاه الذى يدخل منه الضوء الذى يعكسه إلى عينك .

١١ — قف فى حجرة وظهرك إلى النافذة . أسقط صورة النافذة على حائط الحجرة مستخدماً عدسة محدبة ولاحظ أن الصورة أصغر كثيراً من النافذة ، وأنها معكوسة .

وسوف تعينك هذه المعلومات على إدراك الطريقة التى تستطيع بها آلة التصوير الصغيرة أن تلتقط صورة لبناء ضخم .

١٢ — لف قطعة من الورق المقوّى ، واجعل منها أنبوبة قطرها حوالى بوصة . ارفعها إلى عينك اليمنى ، ثم أمسك كتاباً على بعد ثلاث بوصات أو أربع أمام عينك اليسرى بحيث يلمس أحد أطراف الكتاب هذه الأنبوبة . لتكن عيناك مفتوحتين إلى أقصى اتساع ، ثم انظر إلى شىء ما داخل الحجرة . ألا يخيل إليك أنك تنظر خلال ثقب فى الكتاب ؟ إن الضوء الذى يأتى خلال الأنبوبة يصل إلى إحدى عينيك ، والضوء المنعكس من الكتاب يصل إلى الأخرى . فعندما تنقل أعصاب عينيك رسالتيهما إلى مخك ، فإنه يخيل إليك أنك تنظر إلى الكتاب خلال ثقب .

اللون :

إذا وضعت منشوراً ثلاثياً فى ضوء الشمس واخترقته الأشعة بطريقة معينة ، فإنك تحصل على حزمة من ألوان الطيف . وهذه الألوان هى التى يتكون منها ضوء الشمس . وهى : البنفسجى والنيلى والأزرق والأخضر والأصفر والبرتقالى والأحمر . وأحياناً يغفلون ذكر النيلى ويذكرون أسماء الألوان الستة الأخرى على اعتبار أنها ألوان الطيف ، لأن النيلى أزرق مشرب بحمرة ويبدو فى قوس قزح مندمجاً فى اللون الأزرق من ناحية والبنفسجى من ناحية أخرى ، ولذلك يصبح من الصعب جداً أن يظهر كلون متميز . ويتكون قوس قزح الطبيعى عندما تسطع أشعة الشمس خلال قطرات الماء فى الهواء . وقد يوجد فى بعض الأحيان قوسا قزح فى السماء فى وقت واحد ، أحدهما فوق الآخر . وأكثرهما وضوحاً أقربهما إلى الأرض . ويوجد اللون الأحمر فى قمة قوس قزح الأسفل ، بينما يوجد اللون البنفسجى فى قاعه . وأما فى قوس قزح الأعلى فيكون اللون البنفسجى فى القمة



واللون الأحمر فى القاع . ويتكوّن أحد القوسين عند ما تسطع أشعة الشمس خلال الأجزاء السفلى لقطرات الماء . ويتكون الآخر عند ما تسطع أشعة الشمس خلال الأجزاء العليا لهذه القطرات .

وإذا تكوّن قوس قزح بعد الظهر ظَهَر دائماً فى الناحية الشرقية من السماء، أما إذا تكون فى الصباح فإنه يظهر فى الجانب الغربى منها . أى إنه يكون دائماً فى الاتجاه المضاد للشمس .

وكثيراً ما ترى قوس قزح فى رذاذ الماء المتناثر من خرطومَ الحديقة أو من نافورة . ولو قدر لك أن تزور شلالات نياجرا فى يوم مشمس أو تشاهد المياه المتدفقة من خزان أسوان، لعادت بك الذاكرة إلى قوس قزح الذى تراه فى المياه المتناثرة من خرطوم الحديقة .

ولما كان من الممكن تحليل أشعة الشمس إلى حزمة من ألوان الطيف (قوس قزح) فلا ينبغى أن يدهشك تجمع هذه الألوان لتكوين اللون الأبيض . هذا ويحتوى قرص الألوان الذى تراه فى ص ٢٧ على جميع ألوان الطيف ، فإذا أدير هذا القرص بسرعة كبيرة فإنه يظهر أبيض اللون .

وأنت حين تعلم أن ضوء الشمس مكّون من ألوان عدة ، يسهل عليك أن تدرك لماذا يكون لبعض الأشياء لون معين وللأخرى لون مغاير . ومن السهل أيضاً أن تدرك السبب فى أن الأشياء يختلف لونها فى ضوء المصباح عنه فى ضوء الشمس .

وهذا الورق أبيض ، لأنه يعكس إلى عينيك جميع الألوان التى فى ضوء الشمس ، والحروف التى على الورق سوداء لأنها لا تعكس شيئاً من هذه الألوان الموجودة فى ضوء الشمس فالحبر يمتص الضوء من جميع الألوان. والسواد ليس لوناً على الإطلاق ، وإنما هو فقدان الألوان.

ولنفرض أنك رسمت على قطعة من الورق ست دوائر بأقلام ملونة ، زرقاء وحمراء وصفراء وبرتقالية وخضراء وبنفسجية وبنية . فالدائرة الحمراء تكون حمراء لأنها تعكس إلى عينك الأشعة الحمراء فقط من ضوء الشمس ، بينما تمتص كل الأشعة الأخرى . والدائرة الصفراء تكون صفراء لأنها لا تعكس إلى عينيك إلا الأشعة الصفراء من ضوء الشمس. والدائرة الزرقاء تكون زرقاء لأنها لا تعكس إلا الأشعة الزرقاء من ضوء الشمس — وهكذا — ولكنك ربما تعجب لدائرة اللون البنى لأن اللون البنى ليس لوناً من ألوان الطيف . والدائرة ذات اللون



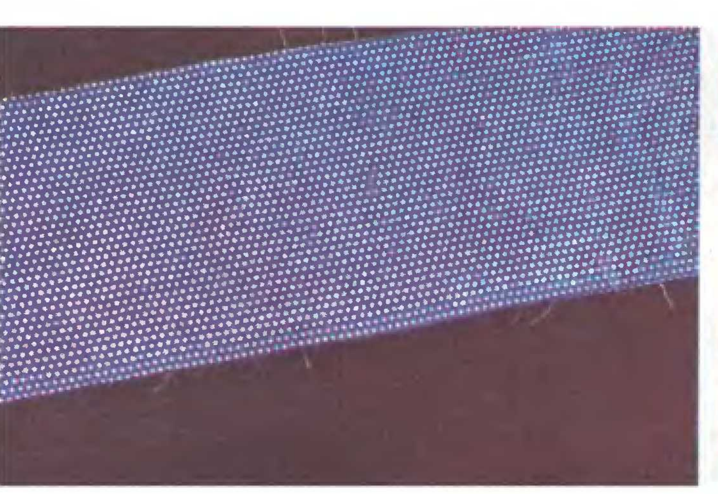
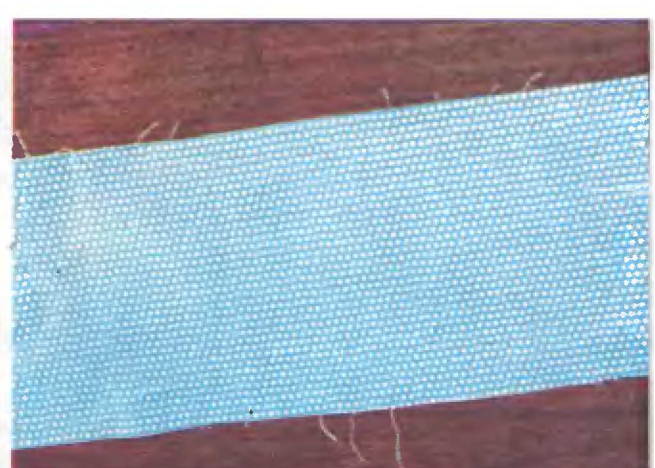


قرص الألوان

التى تعكس إلى عينيك جزءاً من الأشعة الحمراء وجزءاً من الأشعة الزرقاء وجزءاً من الأشعة الصفراء .

والدائرة الزرقاء لا يمكن أن تظهر زرقاء ما لم تسقط عليها أشعة زرقاء من الضوء ، ثم تتمكن من أن تعكسها إلى عينيك . افرض أنه كان عليك أن تنظر إلى دائرة زرقاء خلال قطعة من الزجاج أو ورق « السلوفان » الأحمر القانى . فالزجاج أو « السلوفان » الأحمر لا يسمح للأشعة الزرقاء بالمرور فيه . وعلى هذا ، فبالرغم من أن الدائرة الزرقاء تعكس أشعة ضوئية زرقاء ، فإن هذه الأشعة لا يمكن أن تصل إلى عينيك . وعلى هذا تبدو الدائرة سوداء ، ويظهر الورق الأبيض المحيط بالدائرة الزرقاء أحمر اللون . وبنفس الطريقة إذا نظرت خلال قطعة من الزجاج أو « السلوفان » الأزرق إلى دائرة حمراء ، فإن الدائرة الحمراء تظهر سوداء ، والورق الأبيض المحيط بها يبدو أزرق اللون .

وقد أفاد العلماء مما يعرفون عن الضوء فى عمل نوع طريف من الصور البارزة تسمى اناجليف Anaglyph . ولكى تفهم هذا النوع من الصور يجب أن تذكر أولا أنك تعودت رؤية الأشياء بعينين اثنتين . افرض أنك تنظر إلى كرة موضوعة أمامك على منضدة ، فإنك ترى بعينك اليمنى ما حول الجانب الأيمن للكرة أبعد قليلا مما تراه بعينك اليسرى . وترى بعينك اليسرى ما حول الجانب الأيسر أبعد قليلا مما تراه بعينك اليمنى . والكرة تبدو

أحـد تأثيرات ضوء الشمس

مستديرة لعوامل منها أنك ترى ما حولها فى جوانبها .

وفى الأناجليف صورتان لنفس الشىء ، إحداهما صورة الشىء أو المنظر كما تراه بعينك اليمنى ، والأخرى صورة المنظر أو الشىء كما تراه بعينك اليسرى . والصورتان مطبوعتان إحداهما فوق الأخرى ، واحدة باللون الأحمر والأخرى باللون الأزرق .

وأنت تنظر إلى الصور خلال منظار زجاجى إحدى زجاجتيه حمراء والأخرى زرقاء . فالعين التى تنظر خلال الزجاج الأحمر تشاهد الصورة الزرقاء ، فتبدو سوداء ، أما العين التى تنظر خلال الزجاج الأزرق فإنها تشاهد الصورة الحمراء فتبدو سوداء . ويرتب مخك الصورتين معاً فتظهر الأشياء التى فى الصورة وكأنها تبرز خارجة من الصفحة .

وضوء المصابيح — حتى عند ما يبدو أبيض مثل ضوء الشمس — لا يشبهه تماماً إذا نظرنا إلى الموضوع من ناحية الألوان التى يتكوّن منها كل منهما . ولهذا يمكن أن ندرك لماذا لا تظهر المواد الملونة دائماً فى ضوء المصابيح كما تبدو فى ضوء الشمس . ولو كان ضوء المصباح مثل ضوء الشمس تماماً ، لكان لون الأشياء واحداً تماماً فى الضوءين .

وبطبيعة الحال ليس ضوء جميع المصابيح أبيض . فى أسفل خشبة المسرح تستخدم الأضواء الملوّنة غالباً . فإذا استعملت الأنوار الحمراء وحدها ، فإن الثياب البيضاء تبدو حمراء بينما يكون لون الثياب الزرقاء أسود . وهكذا يمكن تغيير ألوان الملابس بسهولة إذا غيّرت الأضواء التى تسلّط عليها .

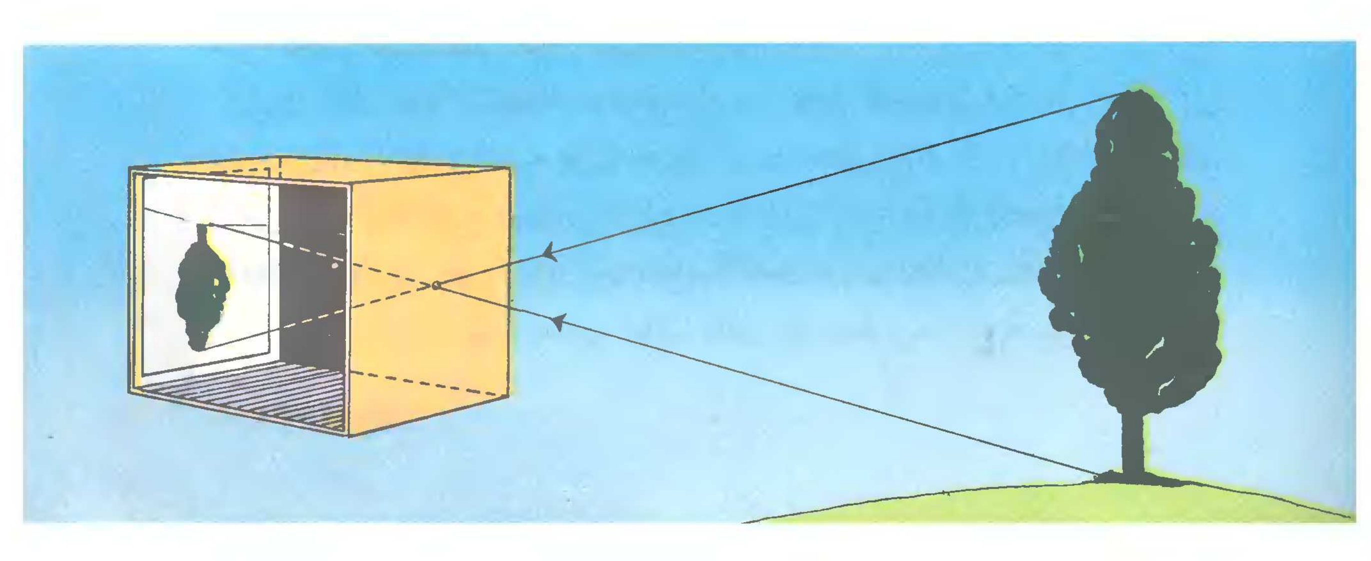
التقاط الصور :

قد يكون ضوء الشمس سبباً فى تغيير الألوان . وترى فى الصورة المنشورة على ص ٢٨

قطعة من قماش أزرق من قبل ثم من بعد تعريضها لضوء الشمس الشديد بضع ساعات . والقماش الأزرق ملوّن بصبغة ، ويحتمل أن يغيّر ضوء الشمس هذه الصبغة . ولما كانت الصبغة مادة كيماوية ، فإن التغيير الذى تحدثه الشمس فيها يسمى تغييراً كيماوياً . وليست الصبغة الزرقاء إلا مادة واحدة من المواد الكيماوية التى تتغير بالضوء . وإذا تغيرت مادة كيماوية بالضوء يقال إنها حساسة للضوء . ولولم تكن هناك كيماويات حساسة للضوء لما أمكننا أن نلتقط صوراً .

والطبعة الزرقاء Blue Print نوع بسيط جداً من الصور ، لا تحتاج فيه إلى آلة تصوير ، إذ يغطى ورق الطبعة الزرقاء بمزيج من الكيمائيات التى تتأثر بالضوء . وهذا المزيج يمكن أن يذوب فى الماء . فإذا أردنا أن نستخرج الطبعة الزرقاء لورقة شجر مثلا ، توضع الورقة على قطعة من ورق الطبعة الزرقاء وتثبت فى مكانها بلوح رقيق من الزجاج ، ثم توضع الثلاثة فى ضوء الشمس حيث تترك بضع ثوان . ولما كانت ورقة الشجر معتمة ، فإن ضوء الشمس لا يستطيع أن يصل إلى الورق الذى تحتها ، وإنما يحدث تغييراً فى مزيج الكيمائيات الموجود فى أجزاء الورق الحساس التى يستطيع الضوء أن يصل إليها . وهناك تتكوّن مادة كيماوية جديدة لونها أزرق فاتح لا يذوب فى الماء . وعند ما ترفع الورقة الحساسة من الشمس ، تغسل فى ماء بارد . والماء البارد يذيب المزيج الذى لم يغيّره ضوء الشمس ويزيله. وتتكون صورة بيضاء لورقة الشجر على أرضية من اللون الأزرق الفاتح .

وأنت تعلم أن آلة التصوير تستخدم فى التقاط الصور . وربما سبق لك أن نظرت خلال آلة التصوير ذات الثقب . وهى اختراع بسيط ، فى مقدمته ثقب صغير ، وفى مؤخرته لوح من الزجاج المصنفر — وهو زجاج ليس شفافاً كالزجاج الصافى . والضوء ينفذ من المرئيات خلال الثقب الرفيع الموجود فى آلة التصوير ، ويكوّن صورة على لوح



الزجاج المصنفر . وتكون هذه الصورة مقلوبة كما يتضح من الرسم المبين على ص ٢٩ . وآ لة التصوير ذات الثقب ممتعة مشوِّقة ولكنها قليلة الأهمية .

أما آلة التصوير الحقيقية فإنها تشبه العين البشرية إلى حد كبير . فى مقدمتها فتحة تشبه إنسان العين . وهذه الفتحة تغلق ما لم تستخدم فى التقاط صورة ، ويختلف هذا المفتاح عن القزحية فى أنه يحجب الضوء معظم الوقت . وبدلا من الشبكية يوجد فى مؤخر آ لة التصوير لوح أو شريط (فيلم) مغطى بمواد كيمائية شديدة الحساسية للضوء . ويمر الضوء الذى يدخل آ لة التصوير خلال عدسة زجاجية . ولا يمكن بطبيعة الحال تكييف هذه العدسة مثل عدسة العين ولكنها — على أية حال — يمكن أن تتحرك إلى الأمام وإلى الخلف فى معظم آ لات التصوير . وهذا التحريك يؤدى إلى حد كبير نفس الغرض المقصود من تغيُّر شكلها. وعند ما توضع العدسة فى الوضع الصحيح ، فإنها تسقط صورة واضحة على الشريط أو اللوح . وقد تكون الصورة أصغر كثيراً من الجسم المراد تصويره أو أكبر منه ، ولكنها لحسن الحظ لا تكون مساوية للحجم الطبيعى .

إن المواد الكيماوية تتغير عند ما يسقط عليها الضوء . ويكون التغير أوضح فى الأجزاء التى تتعرض أكثر من غيرها للضوء . وبعد أن تلتقط الصورة ، ينبغى أن يحمَّض الفيلم أو اللوح . وتحميض اللوح أو (الفيلم) معناه إزالة المواد الكيماوية التى لم تتغير وغسلها وتثبيت المواد الكيماوية التى تغيرت بحيث لا يطرأ عليها تغيير آخر . وترى فى الصورة المنشورة على هذه الصفحة شريطين تم تحميضهما ، أحدهما صورة فتاة فى ثوب أبيض . لاحظ أنه يظهر أسود . لقد عكس الثوب ضوءاً كافياً إلى الشريط نتج عنه تغير المواد الكيماوية بدرجة كبيرة . أما الشعر الأسود للفتى الذى فى الصورة الأخرى فانه يظهر قاتماً ، لأنه لم يعكس ضوءاً كافياً تتأثر به المواد الكيماوية إلى حد كبير .

ومن أمثال هذه الأشرطة السلبية تطبع الصور . وطبع الصور يشبه تقريباً طريقة عمل الطبعة الزرقاء إذ توضع السلبية على قطعة من الورق المغطَّى بمادة كيماوية حساسة للضوء ، وتغطَّى هذه الورقة بلوح رقيق من الزجاج ، ويعرَّض الزجاج والورق والسلبية لضوء قوى . والمادة الكيماوية التى على الورق أكثر حساسية للضوء على أية حال من غطاء ورق الطبعة




الزرقاء . وكل طبعة ينبغى أن تحمّض بالمواد الكيماوية لا بالماء .

وتتراوح ألوان الصور الفوتوغرافية العادية بين الأبيض والأسود أو الرمادى . ويمكن أن تطبع الصور السوداء والبيضاء باللون البنى بدلا من هذه الطبعة العادية . وقد أصبح فى الإمكان التقاط صور ملونة فى الوقت الحاضر . وكثير من صور هذا الكتاب مأخوذ من صور فوتوغرافية ملوّنة .

والصور المتحركة ما هى إلا صور منفصلة تعرض عليك بوساطة آلة عرض الصور المتحركة عرضاً سريعاً لدرجة أنك لا ترى أى فاصل بين هذه الصور المنفصلة . والصور المتحركة يمكن أن تكون صوراً ملونة — مثلها فى ذلك مثل الصور الثابتة .

الرسائل الضوئية :

فى حرب الأرمادا الإسبانية المشهورة ذاع نبأ وصول السفن بين سكان إنجلترا بوساطة عدد متسلسل من منارات اللهب أقيمت على قمم الجبال ، فوصلت الرسالة إلى المحاربين الانجليز بأسرع مما كانت تصل إليهم لو أن العدائين أو راكبى الخيول قد حملوها ، لأن الضوء المنبعث من النيران ينتشر بسرعة تزيد كثيراً على سرعة المشاة والركبان . فأنت تذكر أن الضوء يسير بسرعة خارقة مدهشة تبلغ نحو ١٨٦,٠٠٠ ميل فى الثانية . وفى قصة حرب طروادة ، سمعنا أن أنباء سقوط طروادة وصلت إلى الإغريق بهذه الإشارات النارية نفسها . وكان رجال المراقبة يقضون الليالى فوق قمم الجبال ، وإلى جوار كل منهم كومة كبيرة من الأخشاب معدة لإشعال النار فى أية لحظة . وعند ما سقطت طروادة ، أعطى الإشارة أقرب رجال المراقبة إلى المدينة فأشعل النار ، ومن ثم تلاه من بعده من رجال المراقبة وبذلك انتشر الخبر .



إرسال الرسائل بوساطة الدخان

وكان ينبغى أن يكون لدى عامل السيمافور فى كل محطة منظار مكبِّر قوى . فإذا كانت لديه رسالة يريد أن يبعث بها ، فإنه يترجمها عن طريق ترتيب أذرع السيمافور فى أوضاع مختلفة .

وهناك اصطلاحات متفق عليها للسيمافور ترشد عن الأوضاع التى يجب أن تكون عليها أذرع السيمافور لكل حرف من الحروف الهجائية . والعامل فى المحطة التالية يقرأ الرسالة بدوره ثم يرسلها إلى السيمافور الذى يليه وهكذا .

وكان الهنود خبراء فى إرسال الرسائل بالدخان . فكانوا يشعلون ناراً ويغذُّونها بأوراق الأشجار الرطبة والحشائش ، فيمتنع كثير من الهواء عن النار ، وتصبح كثيرة الدخان ، ثم يضعون ملحفة أو غطاء قرب النار . وكلما أزاحوا هذا الغطاء جانباً ، تصاعدت سحابة صغيرة من الدخان . وعدد السحب الصغيرة المتصاعدة من الدخان هو الذى يعطى الرسالة . وكان الضوء — بالطبع — هو الذى ينتقل من السحب الدخانية إلى عينى الشخص المقصود بالرسالة .

ولقد استخدم جنود الرومان الأعلام لإرسال الرسائل بين أبراج الحراسة . وكانت الأعلام ذات ألوان مختلفة ، كل لون منها يعنى رسالة معيَّنة .

ولا تزال الأعلام مستعملة فى الرسائل حتى الآن . وهناك اصطلاح دولى لإشارات الأعلام التى تستخدمها السفن أحياناً فى تبادل الرسائل . وإذا كنت كشافاً فربما أدركت إرسال الرسائل بالأعلام .

على أن الضوء — وإن كان وسيلة سريعة لإرسال الرسائل — إلا أنه وسيلة ينقصها الكمال

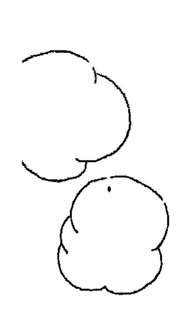
وبعد ذلك وجد الإغريق وسيلة لترجمة الرسائل بوساطة لهب المشاعل . إذ رتبوا حروفهم الهجائية فى شكل مربع يقارب هذا[1] :

ا	خ	ش	غ	ن
ب	د	ص	ف	هـ
ت	ذ	ض	ق	و
ث	ر	ط	ك	لا
ج	ز	ظ	ل	ى
ح	س	ع	م	

وكان لدى مرسل الإشارات حاملان لحمل المشاعل . فإذا وضع خمسة مشاعل فى كل حامل ، فإنه كان يقصد الحرف الخامس فى العمود الخامس ، وإذا وضع مشعلين فى الحامل الأول وثلاثة فى الحامل الثانى فإنه كان يعنى الحرف الثالث فى العمود الثانى .

وقد كانت السهام المشتعلة إحدى الطرق التى كان الهنود يبعثون بها الرسائل عندما جاء الجنس الأبيض إلى أمريكا . فصيحة الاستغاثة كان يمثلها ثلاثة أسهم تنطلق متتابعة ، وسهم واحد يعنى أن العدو قريب ، وعدة أسهم تنطلق دفعة واحدة معناها أن العدو يكسب المعركة .

وفى بعض الأحيان كانت المصابيح تحل محل المشاعل فى إرسال الرسائل . والإشارات النارية بطبيعة الحال لا ترى جيداً فى أثناء النهار ، ولكن الضوء يمكن أن يستعمل كوسيلة للإرسال فى النهار كما يستعمل بالليل . فعند ما كان نابليون يقوم بحملته فى أرض مصر المشمسة كان ضباطه يستعملون المرايا لتبادل الرسائل الضوئية بينهم . والمرايا التى تستعمل فى إرسال الرسائل الضوئية تسمى (هليوجراف) . وكلمة هليوجراف أتت من كلمتين إغريقيتين معناهما « الشمس » ، « يكتب » . وقبل عصر نابليون بمئات السنين كان الفرس « يكتبون بضوء الشمس » ، وقد استخدموا فى ذلك الدروع المعدنية اللامعة بدلا من المرايا .



ومن طرق استعمال الضوء كوسيلة للإرسال ، أن تستعمل أعمدة للأشارات بأذرع متحركة . وأمثال هذه الأعمدة تسمى « السيمافورات » .

وفى ظل نظام السيمافور كانت تبنى المحطات على مسافة عشرة أميال بين كل اثنتين .

(١) الحروف فى اللغة العربية لا يمكن ترتيبها فى شكل مربع ، إذ يوجد صف أفقى زائد عن المربع .



والدقة ، فهناك عوائق كثيرة تمنع انتقال هذا النوع من الرسائل من مكان إلى آخر . ولقد حدث مرة أن حال الضباب دون وصول رسالة بالغة الأهمية أرسلت بوساطة السيمافور . وقصة ذلك أن الجنود الإنجليز بقيادة دوق ولنجتون كانت قد خاضت معركة هامة مع جنود نابليون الفرنسيين . وكانت الرسالة التى جاءت إلى لندن بوساطة السيمافور هى « هزم ولنجتون » فأصاب الناس فى لندن همٌّ كبير . وبعد ذلكُ عرف أن الضباب حجب آخر كلمة فى الرسالة عن الوصول وهى « الفرنسيين » . . تأمل أى تغيير فى معنى الرسالة أحدثته هذه الكلمة الواحدة .

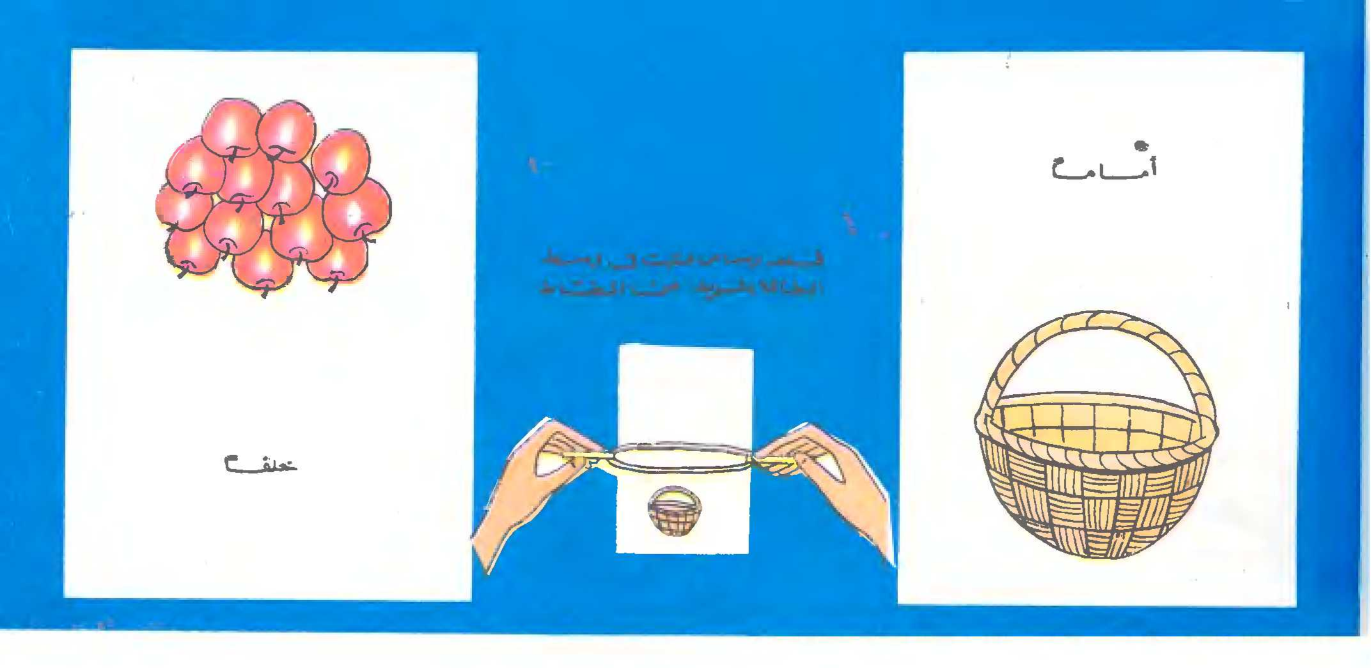
إضاءة شوارعنا ومبانينا :

هل خطر ببالك كم يصيب حياتنا من ركود وكآبة إذا اعتمدت إضاءتنا على الشمس والقمر والكواكب وحدها ؟ .

كانت النار هى المصدر الوحيد للضوء الصناعى إلى وقت قريب . فالشمعة أو الخشب فى المشعل أو الزيت والبترول فى المصباح . . كانت تحترق فينبعث منها الضوء . وكان اكتشاف طرق توليد الكهرباء واستعمال التيار الكهربى وسيلة جديدة للإضاءة لا يحدث فيها أى احتراق . ففى بعض المصابيح الكهربية يستعمل التيار الكهربى فى تسخين خيط من المعدن إلى درجة الاحمرار والتوهج . وفى مصابيح كهربية أخرى يسبب التيار الكهربى توهج غاز معين . ويعتقد كثير من الناس أن المصابيح الكهربية أفضل وسائل الإضاءة التى عرفت حتى الآن . وما زالت التجارب تجرى على طرق مختلفة للأضاءة . فالطلاء (الدهان) مثلا قد صنع بحيث يتوهج بشدة إذا سقط عليه ضوء مصابيح معينة . وبمضى الزمن ربما أمكننا أن نطلى جدران حجراتنا بهذا النوع من الطلاء وحينئذ لا نصبح فى حاجة إلى هذا العدد الكبير من المصابيح التى نستخدمها الآن .

جرب بنفسك

١ ــ قف أمام نافذة وانظر خلال منشور ثلاثى ، فإذا لم تر ألوان الطيف خلاله ، فأدره ببطء حتى تراها . ثم ضع المنشور فى طريق حزمة من أشعة الشمس



وبوساطة هذا المنشور أسقط الطيف على السقف أو على أحد الجدران .

إن المنشور ــ بسبب شكله الخاص وما يتصف به من نقاء وصفاء ــ كفيل بتحليل ضوء الشمس إلى ألوان الطيف ، وعند ما تنظر خلال منشور فى وضع مناسب صحيح فإن كل شىء تراه تبدو أطرافه وقد حددتها ألوان الطيف .

ومن الصعب أن يسقط الطيف فى المكان الذى تريده تماماً . ذلك لأن أشعة الضوء تنحرف عندما تأخذ طريقها من الهواء إلى الزجاج أولا ثم عندما تنفذ من الزجاج إلى الهواء ثانية .

٢ ــ ارسم أسداً بقلم بنى ، ثم ارسم قفصاً حول الأسد بقلم أصفر ، ثم ارسم شجرة بقلم بنى وآخر أخضر قريباً من أحد أركان هذا القفص . انظر إلى هذه الصورة التى رسمتها خلال قطعة من الزجاج أو « السلوفان » الأحمر الصافى . ماذا حدث للقفص؟ . إن الخطوط الصفراء تبدو خلال « السلوفان » كأنها أرضية الصورة والأسد يظهر كأنه خارج القفص .

٣ ــ اعمل لعبة دوارة كالموضحة فى ص ٣٥ . ضع هذه اللعبة على طرف منضدة بحيث تكون كل البطاقة ما عدا بوصتين تقريباً من القلم خارجة عن المنضدة . أدر القلم بسرعة إلى الأمام وإلى الخلف على طول المنضدة . لاحظ الصور المرسومة على البطاقة ، وحاول أن تدير البطاقة بسرعة حتى يبدو التفاح وكأنه فى سلة . إذا أنت أدرت البطاقة بسرعة كافية ، فإن عينيك تشاهدان الصورتين معاً .

٤ ــ ارسم دائرة قطرها نحو بوصتين فى وسط قطعة من الورق الأبيض . لوّن الدائرة كلها باللون الأحمر القانى ، أمسك الورقة بيدك اليمنى وابسط ذراعك على امتداده بعيداً

عنك ، ثم أمسك بيدك اليسرى قطعة من الورق الأبيض على امتداد الذراع الأخرى أيضاً حملق بشدة فى الدائرة الحمراء نحو دقيقة تقريباً ، ثم انظر إلى قطعة الورق البيضاء . هل ترى دائرة ؟ وإذا كنت تراها ، فما لونها ؟

وإذا لم تكن تراها ، فحاول التجربة مرة أخرى ، إذ ينبغى أن ترى على الورقة البيضاء دائرة خضراء . فالأحمر والأخضر لونان متكاملان ، وإذا أضيف أحدهما إلى الآخر نتج عنهما لون أبيض . وعند ما تتعب عيناك من النظر إلى الدائرة الحمراء لا تستطيعان بعدئذ رؤية اللون الأحمر . ويقصر نظرك عن رؤية الأشعة الحمراء فى الضوء الأبيض المنعكس من الورقة ، وإنما ترى صنو اللون الأحمر الذى يكمّله وهو اللون الأخضر .

حاول أن تعرف اللون المتكامل مع اللون الأزرق بتكرار التجربة مستخدماً دائرة زرقاء .

٥ ــ خذ قطعة من ورق الطبعة الزرقاء التى لم يسبق لها أن تعرّضت للضوء . ما لونها ضعها تحت صنبور ماء بارد . كيف صار لونها ؟

خذ قطعة ثانية من ورق الطبعة الزرقاء . وعرّضها لأشعة الشمس المشرقة لفترة تعد فيها من واحد إلى ٢٥ عداً بطيئاً ، ثم اغسلها بماء بارد من الصنبور ، ما لونها ؟

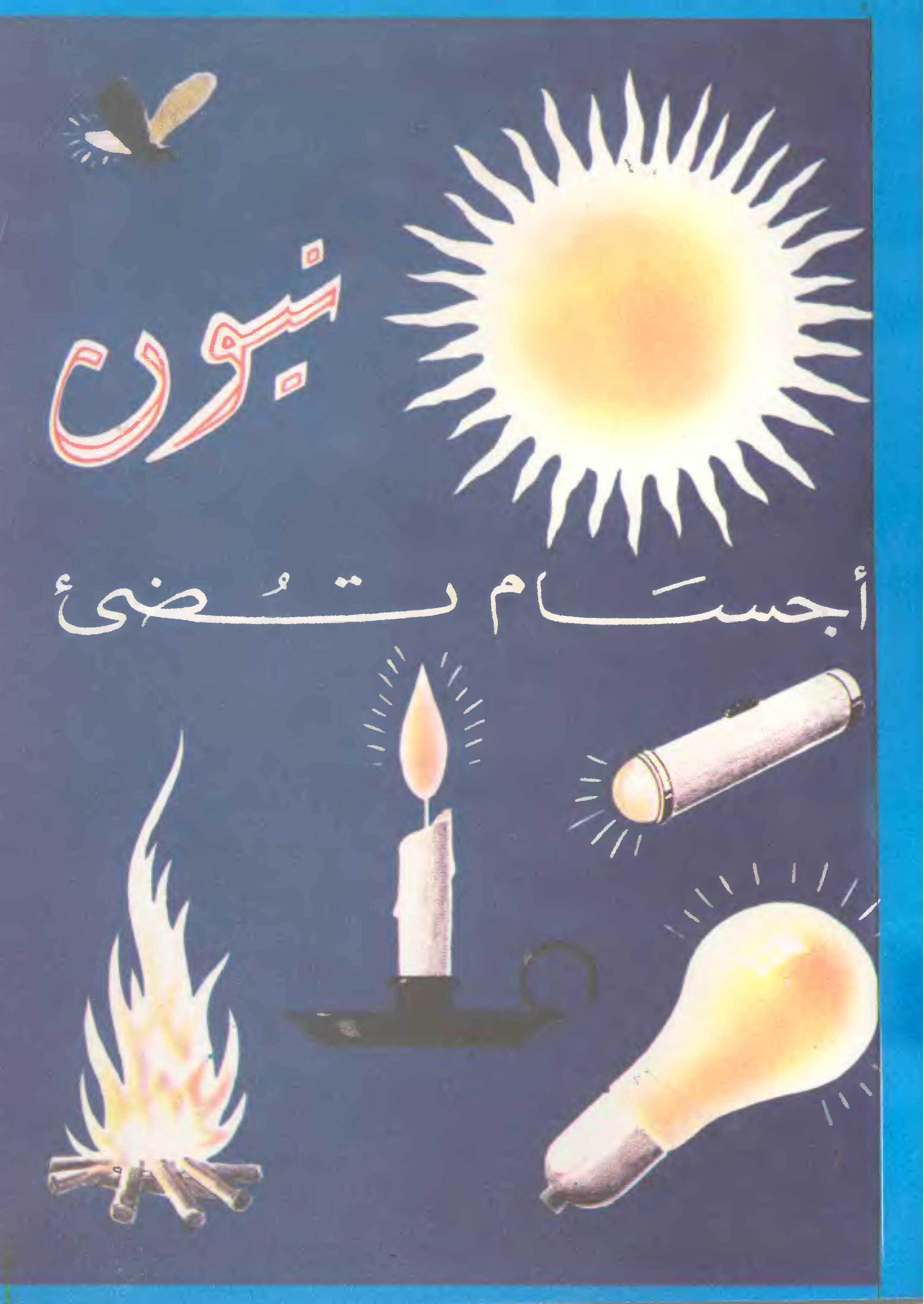
خذ قطعة ثالثة من ورق الطبعة الزرقاء . ضع ورقة من أوراق الشجر على قمة ورقة الطبعة الزرقاء . ضع لوحاً من زجاج فوق ورقة الشجر كى تثبت فى مكانها . ضع ورقة الطبعة الزرقاء فى ضوء الشمس الساطعة ، واتركها حتى تعد من واحد إلى خمسة وعشرين عداً بطيئاً . أبعد غطاء الزجاج وورقة الشجر ، واغسل ورقة الطبعة الزرقاء تحت صنبور ماء بارد . ماذا يحدث ؟

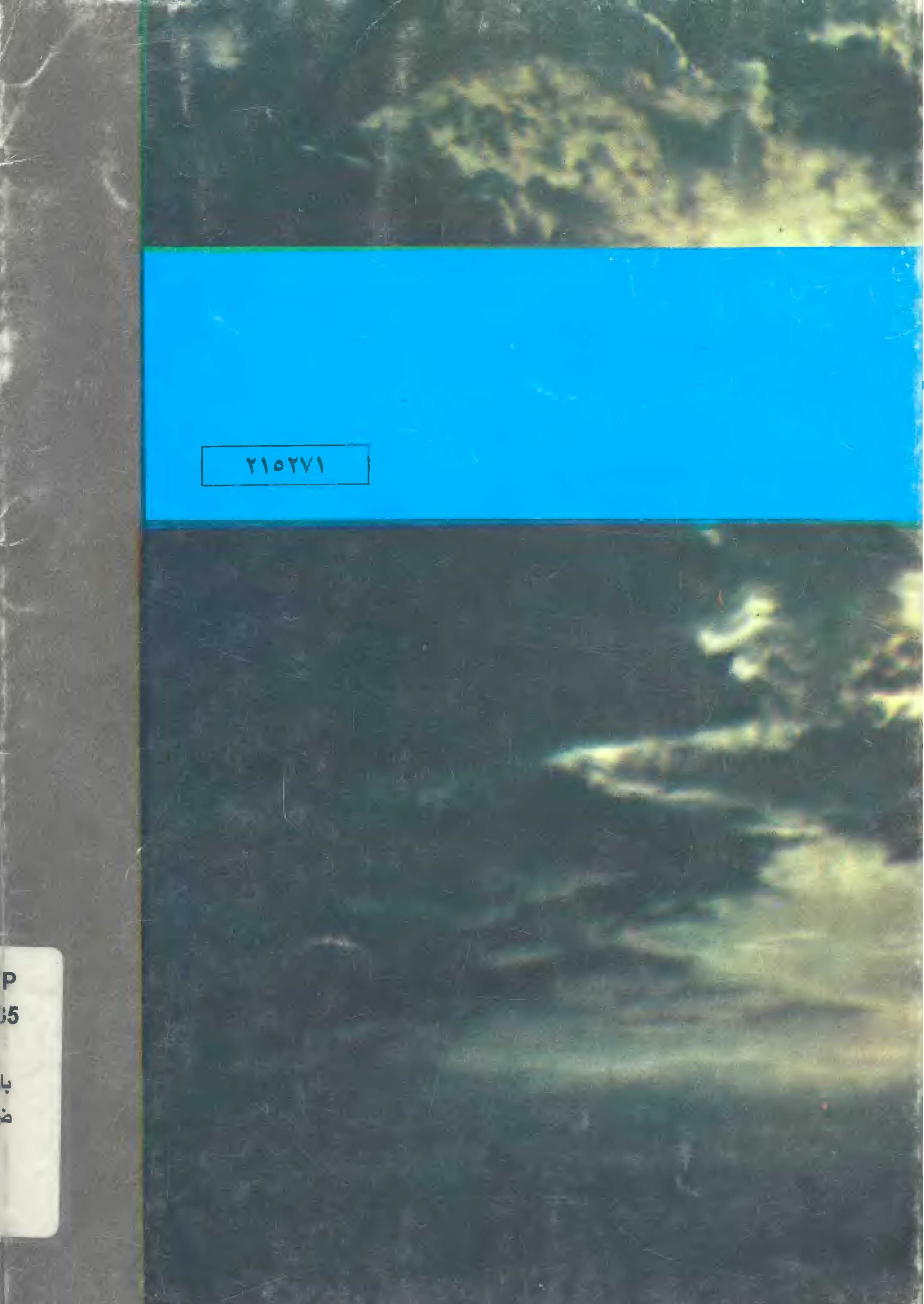
ضع قطعة رابعة من ورق الطبعة الزرقاء على رفّ أو منضدة فى ضوء الشمس . لا تضع عليه شيئاً ، وإنما ضع جسماً بحيث يقع ظلّه على هذه الورقة . اترك الورقة فى ضوء الشمس حتى تعدّ من واحد إلى خمس وعشرين عداً بطيئاً ، ثم اغسل الورقة تحت صنبور الماء البارد . ماذا يحدث ؟

إذا لم تفهم ما يحدث فاقرأ صفحة ٢٨ مرة ثانية .

رقم الإيداع		١٩٩٣ / ١٨٣٧
الترقيم الدولى	977 - 02 - 4945 - 3	ISBN

١ / ٩٢ / ٢٥٤
طبع بمطابع دار المعارف (ج.م.ع.)


نيون
أجسام تضيء


٢١٥٢٧١